



**Roberto Ribeiro  
Laranjeira**

**Controlo remoto e autónomo de um sistema de  
aquacultura**





**Roberto Ribeiro  
Laranjeira**

**Controlo remoto e autónomo de um sistema de  
aquacultura**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Automação Industrial, realizada sob orientação científica de Prof. Doutor José Paulo Santos, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



## **O júri**

Presidente

Prof. Doutor Pedro Nicolau Faria da Fonseca  
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos  
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Doutor Ricardo Jorge Guerra Calado  
Equiparado a Investigador principal da Universidade de Aveiro



## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram, de uma forma direta ou indireta, para a realização desta dissertação.

Ao meu orientador, Professor Doutor José Paulo Santos, pela confiança e motivação ao longo desta dissertação.

Aos meus pais, Manuel e Celina, pelo apoio incondicional e incentivo ao longo de todo percurso académico, sem eles não seria possível.

Ao meu irmão João, à Maria e ao Mateus por todo o carinho e compreensão, fundamentais para a conclusão desta etapa.

À Susana, por toda a paciência, companhia, ajuda, e, por estar sempre presente.

Aos meus amigos e colegas, que me acompanharam neste longo caminho, pela troca de conhecimentos, pela amizade e pelo companheirismo.

Muito obrigado a todos.





**Palavras-Chave**

Aquacultura, Serviço GSM, Controlo Remoto, Monitorização, Microcontrolador, Sensores.

**Resumo**

Esta dissertação apresenta um sistema de aquacultura que possibilita a sua monitorização e o seu controlo autónomo. O sistema é capaz de ler grandezas como nível, pH, luminosidade, pressão e temperatura, e, posteriormente, ativar ou desativar os atuadores, como as eletroválvulas e as bombas peristálticas, até que se encontrem os valores pretendidos. O GSM é uma parte relevante do sistema desenvolvido, que permite uma interação à distância com o sistema, utilizando um telemóvel. Em qualquer momento, o utilizador pode pedir informações ao sistema, através de uma solicitação efetuada por mensagem de texto. As informações requeridas podem ser relativas ao estado dos atuadores e aos valores que os sensores apresentam. O utilizador pode, ainda, modificar o estado de um atuador, através de mensagem de texto enviada para o sistema. A resposta ao utilizador é uma mensagem com a verificação do que foi pedido. O sistema permite também ser configurado através de mensagem de texto, definindo os limites de cada parâmetro. Tem, ainda, a capacidade de enviar alertas, via mensagem de texto, quando algum valor estiver fora do pretendido. Apresenta uma aplicação em *Visual Basic*, que permite interagir com o sistema, controlar os limites e os atuadores, visualizar os alertas emitidos e registá-los em base de dados, para guardar o historial e compreender o comportamento através de gráficos.



**Keywords**

Aquaculture, GSM Service, Remote Control, Monitoring , Microcontroller, Sensor.

**Abstract**

This dissertation presents a system that enables its aquaculture monitoring and autonomous control. The system is capable of acquire readings such as pH, light, pressure, and temperature, and then of enabling or disabling the actuators, solenoid valve and peristaltic pump, until they meet the desired values. The GSM is an important part of the developed system, which also allows for remote interaction with the system using a mobile phone. The user can request information from the system, any time, through a request made by text message. The information required to the system can be related to the state of the actuators and the sensors values. The user can also modify the state of an actuator, by sending a text message to the system. The answer to the user is a message with the verification values of the request. The system also allows it to be configured via text message, defining the limits of each parameter. It also has the ability to send an alert via text message when any value is outside the established limits. The system presents a Visual Basic application enabling users to interact with the system, to control limits and actuators, to view alerts, to register in the database to keep a record log and to visualize the behavior through graphs.



## Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Contexto .....	1
1.2	O problema e a sua importância .....	1
1.3	Objetivos .....	1
1.4	Organização da tese .....	2
2	Estado da arte .....	3
2.1	Aquacultura .....	3
2.1.1	Aquacultura em Portugal e no mundo .....	3
2.1.2	Legislação .....	5
2.1.3	Tecnologia na aquacultura .....	6
2.1.4	Parâmetros de qualidade da água na aquacultura .....	7
2.2	Soluções académicas propostas por outros.....	8
2.3	Soluções comerciais atuais.....	11
3	Sistema proposto .....	15
3.1	Perspetiva geral do sistema .....	15
3.2	Descrição da solução.....	15
3.3	Meio de comunicação .....	17
3.3.1	Comunicação sem fios.....	17
3.3.2	Comunicação por <i>Global System for Mobile Communications</i> (GSM) .....	18
3.4	Sensores .....	19
3.5	Atuadores.....	25
4	Implementação da solução proposta.....	29
4.1	Sistema implementado - <i>Hardware</i> .....	29
4.1.1	Microcontrolador .....	29

4.1.2	Circuitos implementados.....	31
4.1.2.1	Funcionamento dos sensores .....	31
4.1.2.2	Funcionamento dos atuadores .....	39
4.1.2.3	Fonte de alimentação .....	41
4.2	Controlo.....	42
4.3	Serviço via SMS.....	45
4.4	Interface gráfica - <i>Software</i> .....	50
4.4.1	Caraterísticas da interface .....	50
4.4.2	Funcionamento da interface .....	51
4.4.3	Base de dados.....	53
4.5	Desenvolvimento do <i>hardware</i> .....	55
4.6	Sistema em funcionamento .....	55
4.6.1	Testes de sensores.....	55
4.6.2	Variações gráficas .....	58
4.6.3	Alertas.....	59
5	Discussão .....	61
5.1	Conclusões.....	61
5.2	Limitações do sistema .....	62
5.3	Perspetivas futuras.....	62
6	Bibliografia.....	63
7	Anexos .....	67

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Controlo de variáveis em tanques de água doce [10] .....	8
Figura 2.2 - Solução para o controlo de variáveis em tanques de água doce [10] .....	9
Figura 2.3 - Esquema do controlo da concentração de microalgas [11].....	10
Figura 2.4 - Sistema implementado no controlo para aquariorfilia [13].....	11
Figura 2.5 - Interface do produto de <i>Intelligenthome</i> [14] .....	11
Figura 3.1 - Arquitetura do sistema .....	16
Figura 3.2 - Classificação das redes <i>wireless</i> [18].....	17
Figura 3.3 - <i>Modem</i> GSM/GPRS [21].....	18
Figura 3.4 - Modo de comunicação entre o controlador e a rede .....	19
Figura 3.5 - PTC1000 tipo EKS 111 .....	20
Figura 3.6 - Eléctrodo de pH .....	21
Figura 3.7 - Sondas de nível .....	22
Figura 3.8 - Sensor capacitivo .....	22
Figura 3.9 - Sensor de pressão MPX2010 [26] .....	22
Figura 3.10 - Coluna de água.....	23
Figura 3.11 - Sensor de iluminação[29] .....	24
Figura 3.12 - Eletroválvula TFW-1S [30].....	26
Figura 3.13 - Bomba peristáltica [31] .....	26
Figura 3.14 - Resistência de aquecimento .....	27
Figura 4.1 - Sistema implementado .....	29
Figura 4.2 - Placa de desenvolvimento [33].....	30
Figura 4.3 - Condicionamento do sinal .....	31
Figura 4.4 - Circuito do sensor de temperatura .....	32
Figura 4.5 - Circuito associado ao eléctrodo de pH [35].....	33
Figura 4.6 - Esquema de ligações do sensor de pH.....	34
Figura 4.7 - Esquema de ligações do sensor de pressão.....	35
Figura 4.8 - Esquema de ligações do sensor de iluminação.....	37
Figura 4.9 - <i>Layout</i> da placa desenvolvida para sensores 3D .....	38
Figura 4.10 - Esquema de ligações da eletroválvula .....	39
Figura 4.11 - Esquema de ligações do atuador de potência .....	40
Figura 4.12 - Esquema de ligações da bomba peristáltica .....	40
Figura 4.13 - <i>Layout</i> da placa desenvolvida para atuadores 3D .....	41

Figura 4.14 - Esquema de ligações da alimentação .....	42
Figura 4.15 - Exemplo de troca de mensagens entre o microcontrolador e o PC .....	43
Figura 4.16 - Controlo do sistema autónomo .....	44
Figura 4.17 - Funcionamento do programa .....	45
Figura 4.18 - Implementação do sistema via SMS .....	46
Figura 4.19 - Sequência de configuração do <i>modem</i> .....	47
Figura 4.20 - Sequência de receção do SMS .....	48
Figura 4.21 - Sequência de envio do SMS .....	48
Figura 4.22 - Exemplo de envio e receção do SMS .....	49
Figura 4.23 - Janela principal da aplicação desenvolvida.....	51
Figura 4.24 - Janela de monitorização.....	51
Figura 4.25 - Janela de configuração de limites .....	52
Figura 4.26 - Janela de configuração de alertas.....	52
Figura 4.27 - Janela para funcionamento em modo manual .....	52
Figura 4.28 - Janela do gráfico da iluminação .....	53
Figura 4.29 - Janela de comandos do SMS.....	53
Figura 4.30 - Janela da tabela de valores dos sensores .....	54
Figura 4.31 - <i>Hardware</i> desenvolvido .....	55
Figura 4.32 - Mensagens enviadas do sistema.....	59
Figura 4.33 - Mensagens entre o sistema e o operador .....	59
Figura 4.34 - Troca de mensagens para definição dos limites das variáveis.....	60
Figura 7.1 - Esquema elétrico da entrada de sensores .....	69
Figura 7.2 - Esquema elétrico da saída de atuadores .....	71
Figura 7.3 - Circuito PCB sensores.....	73
Figura 7.4 - Circuito PCB atuadores.....	73



## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Produção de pescado de 2007 a 2012 .....	4
Tabela 2.2 - Diplomas da atividade de aquacultura [8] .....	6
Tabela 2.3 - Comparação das soluções comerciais.....	12
Tabela 4.1 - Resumo de dispositivos atuadores.....	41
Tabela 4.2 - Trama de troca de mensagens .....	43
Tabela 4.3 - Lista de funções de comunicação porta série .....	43
Tabela 4.4 - Mensagens implementadas no sistema.....	49
Tabela 4.5 - SMS de alertas .....	49



## Índice de Gráficos

Gráfico 2.1 - Origem do peixe consumido, mundialmente, em 2012, e previsão para 2030 .....	4
Gráfico 2.2 - Regimes na aquacultura em Portugal .....	5
Gráfico 3.1 - Relação entre o valor do PTC e a temperatura .....	20
Gráfico 3.2 - Relação entre a variação da tensão e o pH .....	21
Gráfico 3.3 - Relação entre a pressão e a saída em tensão .....	23
Gráfico 3.4 - Relação da iluminação com a variação da resistência .....	25
Gráfico 4.1 - Relação entre a variação do ADC e a temperatura .....	32
Gráfico 4.2 - Relação entre a variação do ADC e o pH .....	34
Gráfico 4.3 - Relação entre a variação do ADC e a pressão .....	36
Gráfico 4.4 - Relação entre a variação do ADC e o nível da água .....	37
Gráfico 4.5 - Relação entre a variação do ADC e iluminação.....	38
Gráfico 4.6 - Calibração do sensor de temperatura.....	56
Gráfico 4.7 - Calibração do sensor de nível.....	57
Gráfico 4.8 - Calibração do sensor de iluminação.....	57
Gráfico 4.9 - Calibração do sensor de pH.....	58
Gráfico 4.10 - Controlo da temperatura .....	59



## Lista de Acrónimos

<b>AC</b>	<i>Alternating Current</i>
<b>ADC</b>	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
<b>ASCII</b>	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
<b>CR</b>	<i>Carriage Return</i>
<b>DC</b>	<i>Direct Current</i>
<b>DGAV</b>	Direção-Geral de Alimentação e Veterinária
<b>DGRM</b>	Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos
<b>EEPROM</b>	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
<b>GPRS</b>	<i>General Packet Radio Services</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i>
<b>I2C</b>	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
<b>IPMA</b>	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
<b>LDR</b>	<i>Light Dependent Resistor</i>
<b>LF</b>	<i>Line Feed</i>
<b>PC</b>	<i>Personal Computer</i>
<b>PCB</b>	<i>Printed Circuit Board</i>
<b>pH</b>	Potencial de hidrogénio
<b>PIN</b>	<i>Personal Identification Number</i>
<b>RS-232</b>	<i>Recommended Standard 232</i>
<b>RTD</b>	<i>Resistance Temperature Detector</i>
<b>SMS</b>	<i>Short Message Service</i>
<b>SPI</b>	<i>Serial Peripheral Interface</i>
<b>WEB</b>	<i>World Wide Web</i>



# 1 Introdução

## 1.1 Contexto

A aquacultura, ou aqüicultura, tem por objetivo a criação de organismos aquáticos, como peixes, moluscos ou plantas aquáticas. Esta atividade consiste na manipulação do meio aquático, assegurando a preservação das espécies no seu ambiente natural, com consequente desenvolvimento da atividade económica. [1]

Contudo, as espécies são bastantes sensíveis à qualidade da água, necessitando de um bom controlo das grandezas físico-químicas, como temperatura, potencial de Hidrogénio (pH), luminosidade, nível de água, entre outras, para evitar as taxas de mortalidade nas instalações de aquacultura.

## 1.2 O problema e a sua importância

Atualmente, Portugal só consegue satisfazer cerca de um terço do consumo do pescado consumido no país, sendo um dos países que mais pescado consome no mundo, motivo pelo qual se pretende colmatar o défice de pescado através da aquacultura. [2]

Neste sentido, esta dissertação pretende desenvolver um sistema que seja capaz de controlar autonomamente o meio aquático e minimizar os problemas existentes neste tipo de meios, como alterações da temperatura, do pH, da iluminação e do nível de água. Estes fatores são de grande importância para a sobrevivência de espécies que habitam no meio aquático. O sistema autónomo fará com que a intervenção do homem seja mínima, tornando a atividade mais rentável economicamente, devido à redução da taxa de mortalidade e da mão-de-obra. Para além do controlo e no sentido de evitar um operador no local, o sistema recorrerá à comunicação remota com um operador responsável, que estará informado da alteração do estado do tanque. Terá ainda a possibilidade de controlar os parâmetros de acordo com o pretendido remotamente.

## 1.3 Objetivos

Como objetivo principal desta dissertação, pretende-se que o sistema controle o meio aquático autonomamente, através da captação de sinais de sensores aplicados no meio aquático e que atuem em conformidade. Caso haja algum parâmetro fora dos valores pretendidos, espera-se que seja emitido um sinal de alerta ao operador, de modo que a pessoa responsável pelo sistema fique ao corrente do problema. Espera-se, também, que seja possível a visualização de informação relativa ao estado real do meio, através de um *software* desenvolvido. Através deste, será também

feito o registo de todas as alterações dos parâmetros e alertas. Pretende-se, ainda, que o sistema seja controlado remotamente e sejam emitidos alertas, via *Short Message Service* (SMS), para a pessoa responsável.

#### **1.4 Organização da tese**

A presente dissertação divide-se em diferentes capítulos e anexos, permitindo, assim, compreender a sua evolução com um sentido lógico.

A secção 1, que corresponde à introdução, aborda o tema da dissertação, os objetivos do desenvolvimento e os problemas que se pretendem corrigir ou desenvolver.

Na secção 2, relativa ao estado da arte, definem-se os conceitos relacionados com a aquacultura e as tecnologias já implementadas. Acrescem as propostas desenvolvidas a nível académico e as soluções existentes no mercado atual.

Na secção 3, explora-se o problema e desenvolve-se uma proposta para o solucionar.

Na secção 4, referente à implementação da proposta, é apresentada, discriminadamente, a forma como foi aplicada a solução encontrada. Posteriormente, analisam-se os resultados.

Na secção 5, é feita uma análise da dissertação e são apresentadas as considerações finais.



## 2 Estado da arte

Neste capítulo, efetuar-se-á um estudo do estado atual da aquacultura e uma revisão de soluções existentes que sejam capazes de controlar o meio aquático. Este será um passo essencial para que se consiga perceber e desenvolver um sistema de aquacultura, uma vez que serão abordados aspetos relacionados com o seu desenvolvimento.

### 2.1 Aquacultura

Nesta secção, serão focados assuntos como o que representa a aquacultura atualmente, a relação da tecnologia com a aquacultura, assim como os parâmetros da qualidade da água na aquacultura.

#### 2.1.1 Aquacultura em Portugal e no mundo

A aquacultura define-se pelo cultivo de animais em cativeiro, tais como peixes, moluscos, crustáceos, répteis ou plantas aquáticas, em pelo menos uma fase da sua vida. O cultivo destes animais ou plantas implica a sua reprodução, manutenção e colheita, em ambientes controlados. Para se poder considerar que um produto tem origem na aquacultura, é necessário que, durante o seu ciclo de vida, seja objeto de algum tipo de intervenção humana, através de práticas como a proteção contra predadores, o controlo do meio ou da quantidade de animais num determinado espaço, pretendendo-se aumentar a produção das espécies. [3]

Na aquacultura, há diferentes formas de cultivo, que se distinguem com base na tecnologia de produção, nomeadamente alimentar, dividindo sistemas de cultura em:

- Extensivo – dependente do alimento natural vindo com o fluxo da água ou correntes das marés.
- Semi-intensivo – com recurso a suplemento alimentar artificial para complementar o natural.
- Intensivo – com recurso a alimentação adicionada ao sistema.

O tipo de cultura mais natural é o extensivo, que aproveita exclusivamente as condições naturais disponíveis e onde não existe praticamente controlo do sistema de produção. [4]

Em 2012, a prática de aquacultura produziu cerca de 42% (67 milhões de toneladas) do pescado consumido em todo mundo. Considerando que o consumo da população mundial continuará a crescer, em 2030, serão exigidos mais de 23 milhões de toneladas de animais aquáticos, que a aquacultura terá de fornecer. [5] No Gráfico 2.1 pode compreender-se o progresso e a importância da aquacultura a nível mundial.

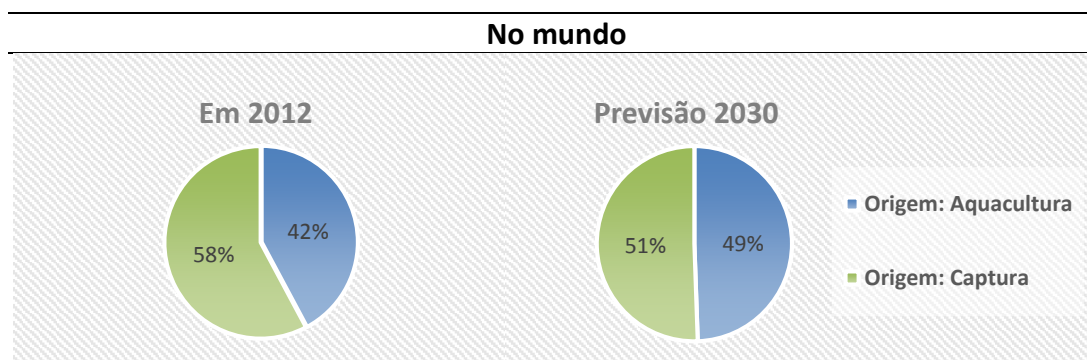


Gráfico 2.1 - Origem do peixe consumido, mundialmente, em 2012, e previsão para 2030

Fazendo uma análise à Tabela 2.1, compreende-se que, de 2007 a 2012, existe um maior consumo de peixe por pessoa, a nível mundial. Verifica-se, também, que esse aumento de consumo de peixe é suportado pela aquacultura, pois, como se pode concluir, a variação do peixe capturado, neste período é praticamente irrelevante. [5]

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	(milhões de toneladas)					
<b>Capturado</b>						
Terra	10.1	10.3	10.5	11.3	11.1	11.6
Marinha	80.7	79.9	79.6	77.8	82.6	79.7
Total	90.8	90.1	90.1	89.1	93.7	91.3
<b>Aquacultura</b>						
Terra	29.9	32.4	34.2	36.8	38.7	41.9
Marinha	20	20.5	21.4	22.3	23.3	24.7
Total	49.9	52.9	55.7	59.0	62.0	66.6
<b>Consumo</b>						
Humano	117.3	120.9	123.7	128.2	131.2	136.2
Não alimentar	23.4	22.2	22.1	19.9	24.5	21.7
População (biliões)	6.7	6.8	6.8	6.9	7.0	7.1
Peixe (Kg) por pessoa	17.6	17.9	18.1	18.5	18.7	19.2

Tabela 2.1 - Produção de pescado de 2007 a 2012

Em Portugal, o sector piscatório (pesca, aquacultura e indústria transformadora do pescado) “apresenta um peso relativamente baixo na economia nacional. Numa população activa de cerca de 5,5 milhões de pessoas, estima-se em 0,6% o emprego directo”. É também de referir que, apesar da localização de Portugal e da sua extensa linha de costa, o peixe capturado e cultivado só consegue satisfazer parte das suas necessidades. Na aquacultura em Portugal, não se tem assistido

“a um aumento da produção desta atividade da forma esperada, o que explica que represente, ainda, um papel relativamente reduzido na produção do sector da pesca”. [2]

A produção do país consegue satisfazer cerca de 23 kg/ano por pessoa, sendo que o consumo ronda os 57 kg/ano. Portugal é um dos maiores consumidores, só ultrapassado pela Islândia.

Em 2012, a produção derivada da aquacultura foi de 10 mil toneladas, correspondendo a 5% dos desembarques de pescado fresco e refrigerado, no território continental. [2][6] Esta produção pode ter diferentes regimes, que podem ser observados no Gráfico 2.2.

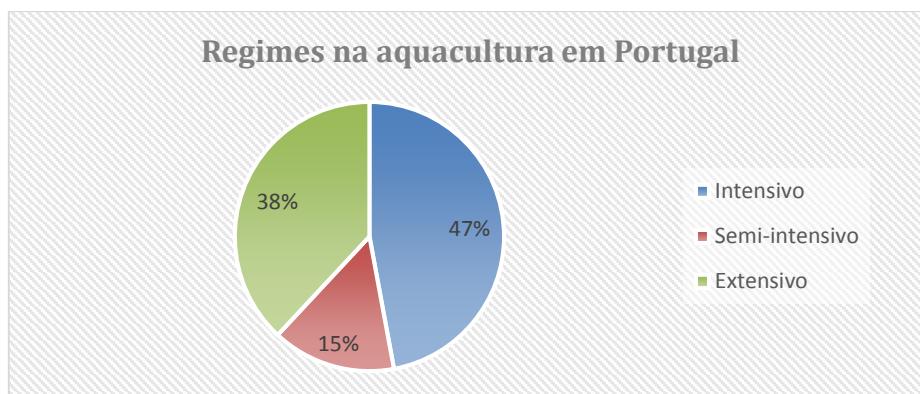


Gráfico 2.2 - Regimes na aquacultura em Portugal

Pretende-se que o sistema possa ser aplicável em qualquer um dos três regimes, sendo que as funções do sistema podem ser utilizadas ou não consoante o meio que se pretende controlar.

Segundo o documento ENM2013-2020 (Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020), “Esta atividade continua a ser pouco explorada no nosso país, em parte devido às condições físicas adversas do litoral português. A melhoria das técnicas e tecnologias de produção poderão contribuir para um significativo desenvolvimento da aquicultura em Portugal e, dentro desta, da moluscicultura”. [7]

### 2.1.2 Legislação

Segundo a Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM), para o desenvolvimento de um sistema de aquacultura é necessário que se cumpram os seguintes procedimentos:

- **Autorização de instalação de estabelecimentos de culturas marinhas e conexos**

Para obter autorização de instalação de um estabelecimento de culturas marinhas, em Portugal, é necessária a instrução de um processo que deve cingir-se às normas indicadas na Tabela 2.2, que são essenciais para que o processo aceite. A instrução contém os elementos necessários para que a análise seja objetiva e fundamentada. Esta instrução inclui, ainda, o envio de um requerimento dirigido à DGRM.

Diplomas específicos da atividade de aquacultura	
Decreto-lei n.º 278/87	Estabelece o regime de autorização de instalação e de exploração de estabelecimentos de culturas marinhas e conexos.
Decreto Regulamentar n.º 14/2000	Estabelece os requisitos e condições relativos à instalação e exploração dos estabelecimentos de culturas marinhas e conexos, bem como as condições de transmissão e cessação das autorizações e das licenças.
Decreto Regulamentar n.º 9/2008	Define as regras fundamentais para a instalação de áreas de produção aquícola (APA) em mar aberto (offshore).
Regulamento (CE) n.º 708/2007	Relativo à utilização na aquacultura de espécies exóticas e de espécies ausentes localmente.
Regulamento (CE) n.º 506/2008	Altera o anexo IV do Regulamento (CE) n.º 708/2007, do Conselho, de 11 de junho, relativo à utilização na aquacultura de espécies exóticas e de espécies ausentes localmente.
Regulamento (CE) n.º 535/2008	Estabelece normas de execução do Regulamento (CE) n.º 708/2007, do Conselho, de 11 de junho, relativo à utilização na aquacultura de espécies exóticas e de espécies ausentes localmente.
Regulamento (CE) n.º 889/2008	Relativo à produção biológica e à rotulagem dos produtos biológicos.
Regulamento (CE) n.º 710/2009	Relativo à produção aquícola biológica de animais e algas marinhas.
Decreto-Lei n.º 152/2009	Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/88/CE, do Conselho, de 24 de outubro, relativa aos requisitos zoo-sanitários aplicáveis aos animais da aquacultura e produtos derivados.
Regulamento (UE) n.º 304/2011	Altera o Regulamento (CE) n.º 708/2007 do Conselho, relativo à utilização na aquacultura de espécies exóticas e de espécies ausentes localmente.

Tabela 2.2 - Diplomas da atividade de aquacultura [8]

- **Licença de exploração**

Após a conclusão das obras de instalação do estabelecimento, o interessado deve requerer à DGRM, no prazo de três meses, a licença de exploração. Posteriormente, o estabelecimento será alvo de uma vistoria, efetuada pela DGRM conjuntamente com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e a Direção-Geral de Alimentação e Veterinária (DGAV). [8]

### 2.1.3 Tecnologia na aquacultura

Com a evolução, surge o desenvolvimento de tecnologia capaz de auxiliar a prática de aquacultura, como alimentação de peixes, sistemas de supervisão e de controlo remoto, sistemas

que permitem a leitura e o registo das características da água. A tecnologia aplicável na aquacultura pode abranger o desenvolvimento de sensores, de inteligência artificial, para o controlo local e remoto do sistema.

Os sensores são responsáveis pela captura das características da água, permitindo perceber quais são os valores físico-químicos de diferentes propriedades da água. Com o progresso, procura-se tornar estes sensores mais duráveis, desenvolvendo-os com materiais mais resistentes. Os sensores são o ponto de partida para que seja possível o controlo da qualidade da água, pois, só percebendo quais as características da água, se poderá atuar em conformidade para manter os níveis pretendidos. Para que se possa visualizar através de uma interface, remota ou localmente, os valores das grandezas físico-químicas referentes à água, recorre-se também aos sensores.

#### **2.1.4 Parâmetros de qualidade da água na aquacultura**

Na aquacultura, é fundamental manter a qualidade da água, fator determinante para o desenvolvimento e a reprodução das espécies, essencial para manter as espécies saudáveis. Cada espécie tem o seu ambiente, com as características mais favoráveis, pelo que é necessário conhecer o tipo de espécie que se pretende produzir.

A temperatura tem influência no metabolismo das espécies em aquacultura, isto é, condiciona o seu crescimento, o seu comportamento e a sua reprodução. Os limites de tolerância térmica variam de acordo com a espécie e podem alterar-se consoante o ambiente em que está inserida. Como exemplo, podemos referir a espécie peixe-gato, que pode morrer em temperaturas abaixo dos 0 °C e acima de 40 °C e deixa de comer abaixo dos 15 °C ou acima dos 35 °C.

O pH é um parâmetro particularmente relevante em meios aquáticos, podendo influenciar muitos fenómenos químicos e biológicos ou ser influenciado por eles. É, pois, uma grandeza a ter em consideração na aquacultura, já que apresenta um efeito direto sobre o metabolismo e sobre processos fisiológicos de todos os organismos aquáticos. As águas com valores de pH que compreendem a faixa entre 6,5 e 9,0 são, normalmente, mais adequadas para a produção de peixes em geral. Valores abaixo de 7 indicam que é ácida e, acima, indicam que é alcalina.

Sendo a água essencial para o desenvolvimento das espécies, é necessário garantir que o nível de água se mantém, compensando as perdas de água que ocorrem, por exemplo, por evaporação.

A reação dos peixes à luz pode variar de espécie para espécie, podendo mesmo este ser um fator determinante para a evolução de determinadas espécies. [4][9]

## 2.2 Soluções académicas propostas por outros

De forma a compreender até onde já foi explorado o tema “aquacultura”, houve a preocupação de procurar trabalhos já desenvolvidos a nível académico. Desta forma, é possível perceber o que já foi desenvolvido e as falhas que se podem colmatar.

Num trabalho académico, foi proposto minimizar os aspetos inerentes a ambientes fechados no meio aquático, e a redução ao mínimo da intervenção do homem neste tipo de meios. Foi desenvolvido um sistema de controlo, representado na Figura 2.1, ao nível do *hardware* e do *software*, capaz de controlar autonomamente as variáveis como pH, temperatura, alimentação e luminosidade. Este sistema, para efeitos de simulação, foi inserido num tanque de água doce onde se aplicou um conjunto de equipamentos de controlo para medição e correção da qualidade da água, através do microcontrolador PIC16F877, como se pode verificar na Figura 2.2. [10]

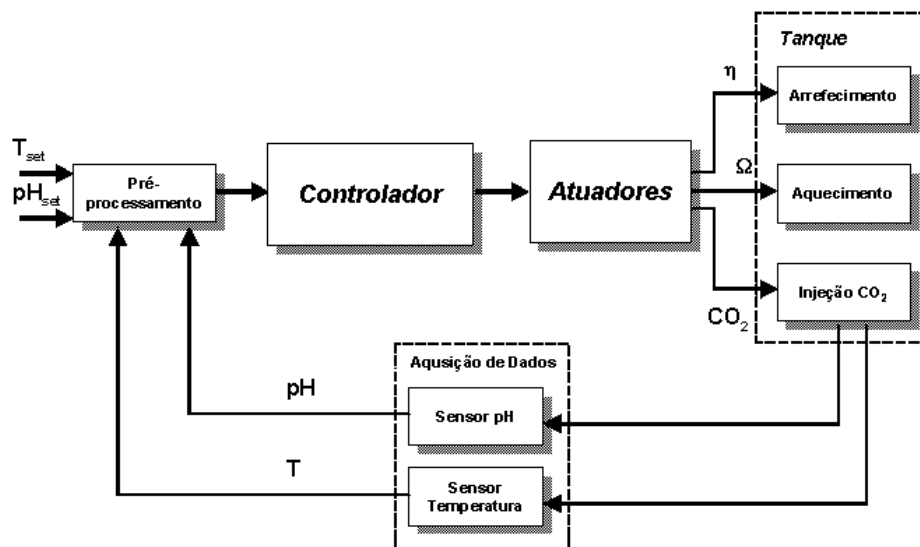


Figura 2.1 - Controlo de variáveis em tanques de água doce [10]

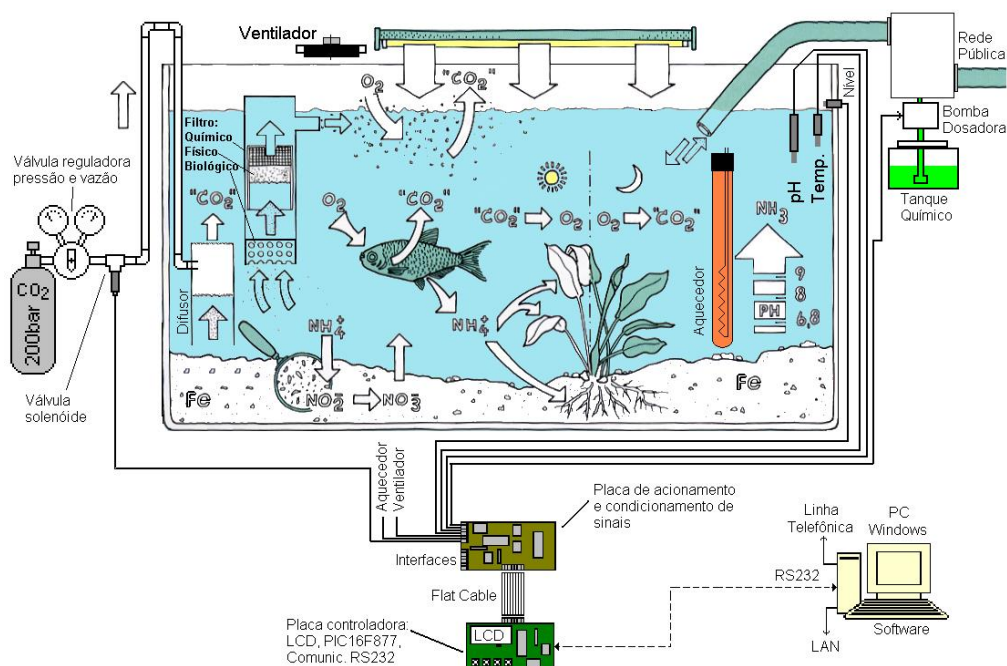


Figura 2.2 - Solução para o controlo de variáveis em tanques de água doce [10]

Outro estudo expôs como problemática a escassez de sementes de moluscos - mexilhão, ostra japonesa, vieira e larvas herbívoras -, nos parques de cultivo locais. Como forma de a combater, foi desenvolvido um sistema de controlo autónomo, capaz de criar um meio com água de qualidade, para que fosse possível a criação de moluscos, através da leitura e do controlo de grandezas, como pH, temperatura e concentração de microalgas, através do emissor e do recetor *Light Dependent Resistor* (LDR). Assim, foi implementado um sistema automático para a alimentação de organismos aquáticos, de modo a aumentar a produção dos seres referidos. O sistema foi implementado num tanque, Figura 2.3, onde é feita a dosagem de alimento e de água fria para as ostras depositadas em cestas. Neste tanque, foram ensaiados os sensores pH e temperatura, onde, posteriormente, é feita a sua análise, através da ferramenta *Matlab*. [11]

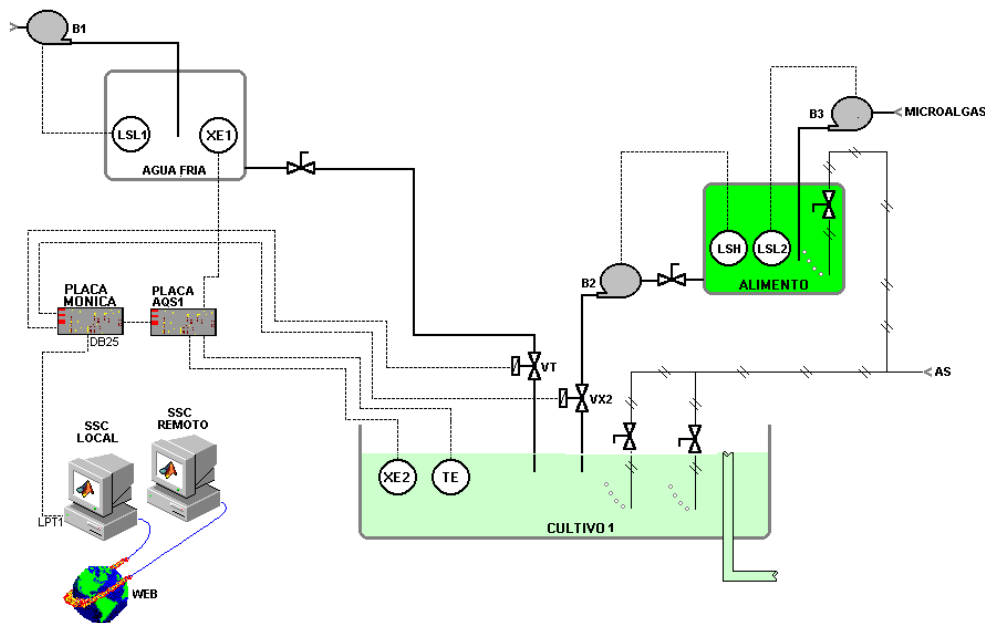


Figura 2.3 - Esquema do controlo da concentração de microalgas [11]

Um problema exposto por outros investigadores foi a manutenção de um aquário, bem como a necessidade de intervenção humana para tal. A solução apresentada consistiu em desenvolver um sistema capaz de controlar os parâmetros da água, de forma ideal, para a criação de peixes. Para isso, é feita a leitura dos sensores e o controlo dos atuadores por um microcontrolador ATmega8. O sistema implementado determinou que as variáveis a serem controladas são o pH, o oxigénio dissolvido, a temperatura, a turbidez e o nível da água. Além do controlo das variáveis, também foi desenvolvido um sistema que possibilita a alimentação automática dos peixes. [12]

Outro estudo consultado propôs-se combater o número de mortes de seres aquáticos. A solução desenvolvida permitiu que o sistema auxiliasse a criação de um *habitat* natural de seres aquáticos a partir de recursos tecnológicos. No sistema, foi implementado um controlo de elementos vitais do ambiente aquático, a partir de uma placa arduíno, para monitorizar e manipular a temperatura, a alimentação, a iluminação, a troca parcial de água e controlar a filtragem do aquário, ilustrado na Figura 2.4. [13]



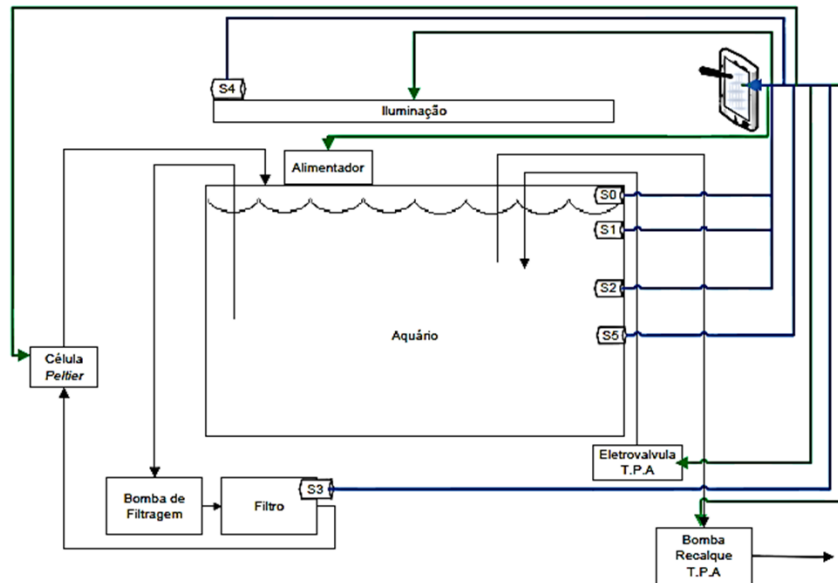


Figura 2.4 - Sistema implementado no controlo para aquariofilia [13]

## 2.3 Soluções comerciais

Para perceber o estado de algumas soluções relacionadas com o controlo de ambientes aquáticos, procurou-se perceber que tipo de soluções existem no mercado. Com esta pesquisa, encontraram-se empresas que oferecem este tipo de sistemas, como a *Intelligenthome*, a *Itelmat*, a *Arguscontrols* e a *Campbellsci*.

A empresa *Intelligenthome* é brasileira e desenvolveu um produto que monitoriza variáveis da água como temperatura, pH, salinidade e potencial de redução e oxidação em aquários de diferentes tamanhos, através do *iPod/iPad/iPhone*. Na Figura 2.5, pode observar-se a interface com o sistema.



Figura 2.5 - Interface do produto de *Intelligenthome* [14]

O produto tem, também, a capacidade de ligar e desligar diferentes dispositivos associados ao sistema. [14]

Outra empresa é a *Itelmatis*, uma empresa portuguesa, cujas principais características são a monitorização geral e completa de variáveis como o valor do pH, a temperatura da água e do ar, e a concentração de oxigénio. A solução tem, ainda, a capacidade de enviar alertas, via SMS, em caso de falha de equipamentos. Esta solução faz ainda um controlo de concentrações de oxigénio, de fluxos de água e de iluminação. [15]

A *Arguscontrols* é uma empresa canadiana, cujo produto desenvolvido é capaz de monitorizar e controlar a qualidade da água. As principais variáveis de controlo são o pH, a temperatura, a salinidade e o CO<sub>2</sub>, controladas a partir de bombas automatizadas. Para além da monitorização e do controlo, o sistema faz o registo da sua informação. [16]

A empresa *Campbellsci* está localizada nos Estados Unidos da América e não oferece um produto concreto, sendo este à medida de quem o pretende. As características que se destacam nesta empresa são a capacidade de fornecer a monitorização e o registo de variáveis como pH, temperatura, condutividade, salinidade, fluxo e nível. Permite, também, fazer o controlo de bombas e de alarmes ou de outros dispositivos elétricos. O sistema desenvolvido pode ser programado para enviar alarmes para computadores ou telemóveis. [17]

Na Tabela 2.3, é possível perceber as principais características de todas as empresas, comparadas de uma forma sintetizada.

Empresa	Arguscontrols	Campbellsci	Itelmatis	Intelligenthome
Temperatura	✓	✓	✓	✓
Temperatura do ar	X	X	✓	X
Turbidez	✓	✓	X	X
Salinidade	✓	✓	X	✓
pH	✓	✓	✓	✓
O <sub>2</sub>	✓	✓	✓	X
CO <sub>2</sub>	✓	X	X	X
Nível da água	✓	✓	X	X
Iluminação	X	X	✓	✓
Alimentação	X	X	✓	✓
Controlo de bombas/válvulas	✓	✓	✓	X
Alarme de monitorização	✓	✓	X	✓
Gravação de dados	✓	✓	X	X
Alertas SMS	X	X	✓	X

Tabela 2.3 - Comparação das soluções comerciais

Legenda:

✓ - Característica válida

X - Não tem esta característica, ou não é mencionada.

Neste estudo, foi realizado um breve contacto com as empresas, via *e-mail*, para perceber em que valores monetários se situavam estas soluções, e a informação recolhida foi a de que os valores dependiam do tipo de solução pretendida. O valor mais baixo, das respostas obtidas, foi o da empresa *Intelligenthome*, que rondava os 4500 euros.



### **3 Sistema proposto**

Neste capítulo, serão analisadas as necessidades do sistema de aquacultura e apresentada uma perspetiva geral do sistema, assim como as principais funcionalidades e suas restrições. Seguidamente, serão apresentados os requisitos de funcionamento do sistema e será explorada a solução proposta para o sistema, onde se definirá a estrutura a ser implementada.

#### **3.1 Perspetiva geral do sistema**

O sistema de aquacultura tem uma parte essencial para o seu funcionamento - os sensores - introduzidos dentro do tanque e ligados ao elemento de controlo, ao qual está, também, ligado um conjunto de atuadores com o objetivo de manter as condições ideais no tanque. Posteriormente, o controlo do sistema poderá ser feito pelo operador, seja de uma forma remota ou através de uma interface local.

O sistema desenvolvido desempenhará determinadas funções para que se consigam perceber as suas capacidades. As principais funções do sistema são: capacidade de controlo autónomo, garantia de comunicação fiável entre todos elementos do sistema, garantia de sensores calibrados, controlo local ou remoto do sistema, registo das grandezas e dos eventos ocorridos em base de dados, envio de alertas remota e/ou localmente, capacidade de descartar mensagens remotas.

As principais limitações do sistema são a inadequação a temperaturas adversas e o custo do sistema.

O sistema desenvolvido é indicado para um operador, não sendo necessária a sua presença no local, podendo desempenhar outro tipo de tarefas, mas sempre a par da situação do tanque.

#### **3.2 Descrição da solução**

Em suma, pretende-se que o sistema seja capaz de fazer o controlo de uma forma autónoma, ou seja, ler, atuar, alertar e registar. Como pode observar-se na Figura 3.1, os blocos representam, de forma simples, as partes constituintes do sistema, composto por quatro blocos que se interligam através de um bloco central de controlo.

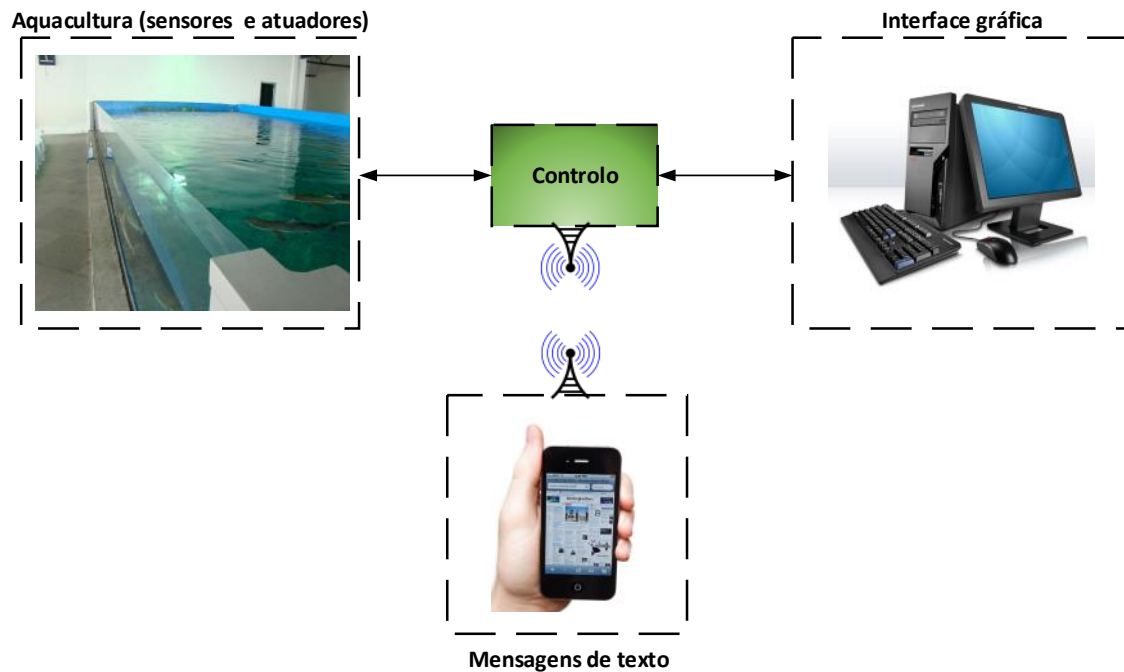


Figura 3.1 - Arquitetura do sistema

- **Bloco de sensores e atuadores**

O bloco é responsável pela conversão das grandezas físico-químicas em sinais elétricos, fazendo o condicionamento dos sinais elétricos, adequando-os, de forma a serem interpretados pelo controlador. Os atuadores são ativados ou desativados, a partir do sinal gerado pelo controlador, de acordo com a configuração deste.

- **Bloco de controlo**

O bloco de controlo gere globalmente o sistema; comunica com o bloco de sensores recebendo os sinais elétricos, já condicionados, e processa-os; gere os atuadores em função dos valores lidos nos sensores; comunica com o bloco de interface gráfica, enviando toda a informação relativa ao sistema; gere o serviço de mensagens com o operador.

- **Bloco de interface gráfica**

A interface gráfica interpreta e gere toda a informação recebida do bloco de controlo, permitindo a sua monitorização; interpreta a informação para que seja armazenada; permite, de forma simples, a interação com o sistema.

- **Bloco de mensagens de texto**

O bloco de mensagens de texto permite interagir com o sistema, com o objetivo de alterar as variáveis e receber alertas.

### 3.3 Meio de comunicação

A escolha de uma rede de comunicação específica depende, principalmente, da área de cobertura, do preço da solução e da facilidade de integração, tendo cada um dos fatores mais ou menos importância, consoante o tipo de necessidade.

#### 3.3.1 Comunicação sem fios

Com a evolução, as soluções atuais de redes com fios vão sendo substituídas por redes sem fios, contornando, de modo simples, o problema da limitação do posicionamento dos dispositivos.

Então, pretendeu-se a concretização de um sistema de fácil aplicação, permitindo a transmissão de dados através de uma ligação sem fios, sendo necessária uma taxa de transferência de dados adequada.

Uma característica relevante das redes sem fios é a distância a que estas soluções funcionam, isto é, qual o alcance necessário para cada tipo de solução.

Atualmente, há diferentes tipos de redes de comunicação sem fios que respondem às diferentes necessidades, Figura 3.2, tais como [18]:

- WPAN (*Wireless Personal Area Network*) – Rede sem fios pessoais (até 100 metros);
- WLAN (*Wireless Local Area Network*) – Rede sem fios locais (até 300 metros);
- WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) – Redes sem fios metropolitanas (6km);
- WWAN (*Wireless Wide Area Network*) – Rede de longo alcance.

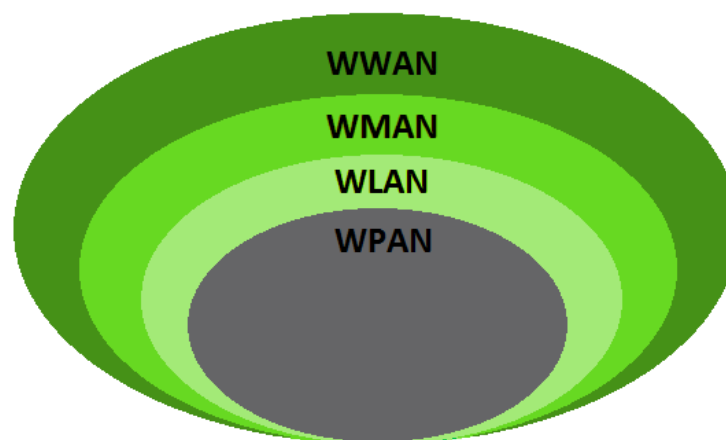


Figura 3.2 - Classificação das redes *wireless* [18]

### 3.3.2 Comunicação por *Global System for Mobile Communications (GSM)*

No desenvolvimento deste projeto, há necessidade de comunicar a longas distâncias, pelo que se considerou que o mais adequado seria o tipo de rede WMAN. Esta tecnologia é utilizada pelas operadoras de telemóveis para criar a sua rede de transmissão através do GSM.

Atualmente, o GSM está presente em quase todo mundo, tanto via terrestre como via satélite, estando acessível a mais de 90% da população mundial. Devido a esta grande cobertura, torna-se possível que os utilizadores se movam sem restrições entre redes do GSM de diferentes operadoras e em diferentes países - *roaming*.

As redes do GSM estão preparadas para serviços de voz e de mensagens, assim como de dados. O serviço de voz tem garantido o êxito das redes móveis, tendo pouca expressão nos serviços de dados, visto que a transmissão de dados é, no máximo, 9,6kbit/s. O serviço de mensagens, inicialmente, foi criado como um serviço extra. Uma mensagem escrita permite o envio de 160 caracteres, no máximo. O GSM possibilita a troca de SMS e chamadas a um custo relativamente baixo. O GSM opera em várias bandas de frequência, sendo as principais nos 900 MHz e/ou 1800 MHz. [19][20]

Para que seja possível comunicar via GSM, é necessário um *modem*, através do qual é possível interagir com a rede. A utilização deste tipo de comunicação permite realizar chamadas, enviar e receber mensagens, que podem ser interpretadas da forma pretendida.

Inicialmente, para compreender o modo de funcionamento do *modem*, recorreu-se a uma placa vulgar de internet que comunica, por USB, com o *Personal Computer (PC)*, o que permitiu simular os comandos AT, via porta série do PC.

Posteriormente, utilizou-se o *modem* SIM340DZ, - Figura 3.3 - inserido numa placa de desenvolvimento, juntamente com um controlador. As principais características deste *modem* são:

- Quad-Band GSM/GPRS 850/900/ 1800/ 1900 MHz
- Dimensões: 40 mm x 33mm x 2.85mm
- Controlo via comandos AT
- Identificação: cartão SIM
- Fonte de alimentação: 3.4V...4.5V



Figura 3.3 - *Modem* GSM/GPRS [21]



A escolha deste tipo de comunicação deve-se ao facto de ser a mais próxima do operador e ter um custo relativamente reduzido, atualmente. Para a execução deste alerta, a comunicação é feita pela porta série entre o controlador e um módulo GSM, como é apresentado na Figura 3.4, que comunicam entre eles através da troca de comandos AT.

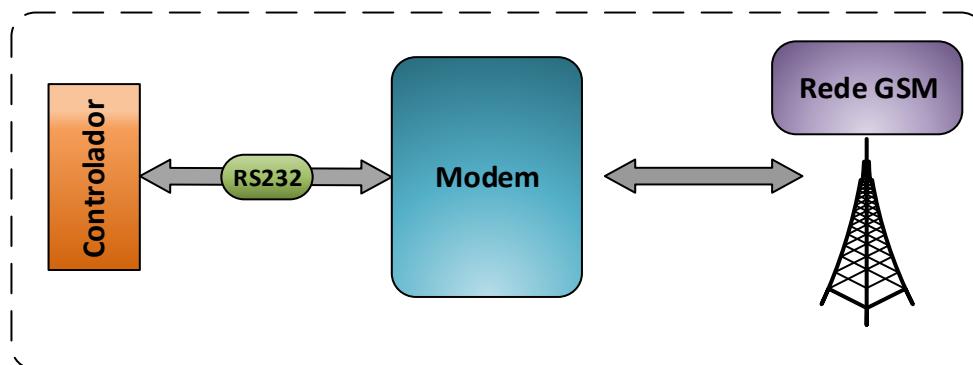


Figura 3.4 - Modo de comunicação entre o controlador e a rede

O tipo de comunicação por *General Packet Radio Services* (GPRS) poderia ser uma alternativa ao GSM, visto que se insere no mesmo tipo de rede. Esta comunicação é uma tecnologia que permite uma maior taxa de transferência de dados. O GPRS combina o acesso móvel a serviços que utilizam a transmissão de pacotes de dados e permite alta velocidade de dados. Fornece, também, aos utilizadores uma maior largura de banda, tornando possível permanecer constantemente ligado, bem como enviar e receber dados de maior dimensão. Não havendo necessidade de uma ligação constante nem de uma grande transferência de dados, optou-se pela utilização do GSM. [22]

### 3.4 Sensores

Os sensores são uma parte fundamental no sistema, pois é através destes que é possível monitorizá-lo.

A escolha dos sensores envolveu algumas dificuldades, pois é necessário perceber qual é o sensor mais adequado para cada situação. Na escolha dos sensores, consideraram-se vários aspetos, como custo, precisão, linearidade, robustez e gama de leitura. Procurou-se tornar o sistema o mais versátil possível, não sendo específico para uma determinada espécie aquática, de modo a medir os valores com uma margem alargada.

- **Sensor de temperatura**

Na escolha do sensor de temperatura, optou-se por um sensor de temperatura do tipo PTC1000 modelo EKS 111, como o da Figura 3.5, cuja resistência varia com a alteração da temperatura, ao contrário do termopar do tipo K, que, através da junção de dois materiais diferentes, gera tensão

nos seus terminais. Tanto o PTC1000 como o termopar têm uma boa precisão e respondem de forma rápida, embora o PTC seja mais linear que o termopar. [23][24]



Figura 3.5 - PTC1000 tipo EKS 111

O termopar lê temperaturas entre  $-270^{\circ}\text{C}$  e  $1200^{\circ}\text{C}$ , já o PTC1000 utilizado lê temperaturas entre  $-50^{\circ}\text{C}$  e  $100^{\circ}\text{C}$ , não sendo este um ponto a valorizar neste projeto, porque ambos abrangem a gama de valores que se pretende medir, de  $0$  a  $40^{\circ}\text{C}$ .

Como se pode observar no Gráfico 3.1, a variação do valor da resistência não é exatamente linear em função da temperatura, o que faz com que haja necessidade de descobrir uma equação aproximada que relacione a resistência com a temperatura, para que o erro seja mínimo. [25]

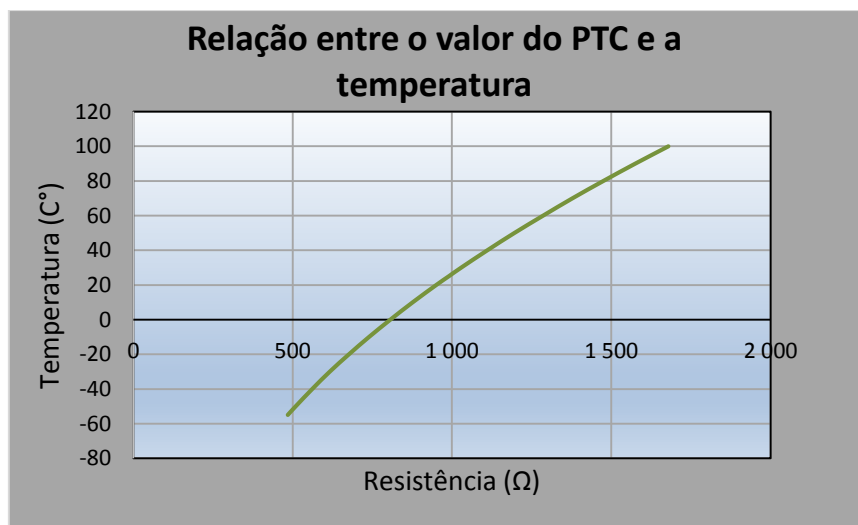


Gráfico 3.1 - Relação entre o valor do PTC e a temperatura

- **Sensor de pH**

Para medir o valor do pH, foi utilizado um elétrodo, adequado às necessidades, de custo reduzido, apresentado na Figura 3.6.

O elétrico mede o valor do pH na escala de 0 a 14. As principais características deste sensor são a alimentação de 5 V e a precisão de 0.1 pH.



Figura 3.6 - Eléctrodo de pH

A gama de saída do sinal analógico varia cerca de 800 mV. Através do Gráfico 3.2, é possível perceber a forma como varia o valor do pH, em função do valor elétrico apresentado pelo sensor. A informação deste sensor foi fornecida pelo vendedor, via *e-mail*.

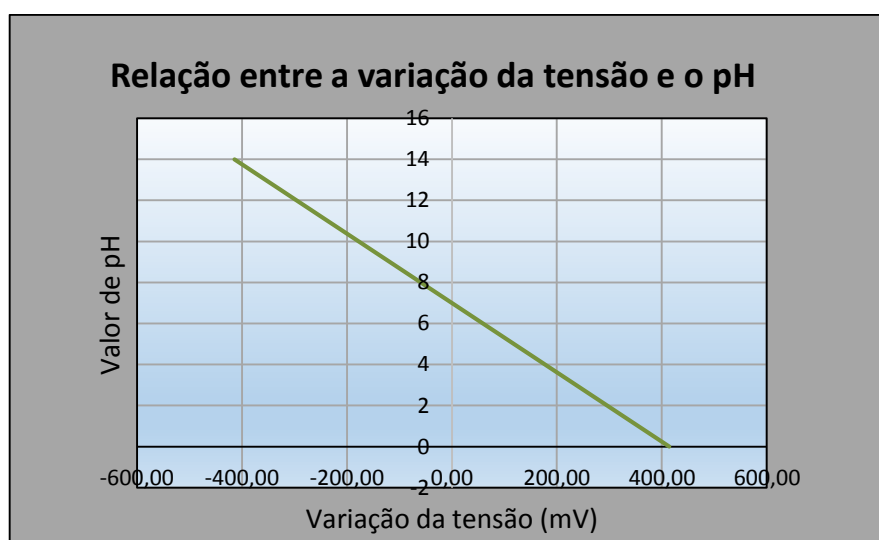


Gráfico 3.2 - Relação entre a variação da tensão e o pH

- **Sensor de nível**

O sensor de nível escolhido neste sistema foi um sensor de pressão, MpX2010, apesar de não ser um tipo de sensor comum neste tipo de aplicação. Antes de se ter optado por este sensor, pesquisaram-se outros, como sondas de nível (Figura 3.7) ou sensor capacitivo (Figura 3.8). As sondas de nível são pouco precisas face ao sensor de pressão, pois, apesar de permitirem perceber entre que níveis se encontram, não têm a mesma precisão. O sensor capacitivo, para além do custo elevado, face ao de pressão, também está limitado na altura.

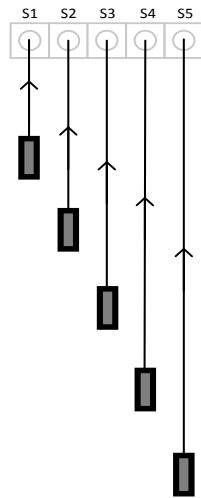


Figura 3.7 - Sondas de nível

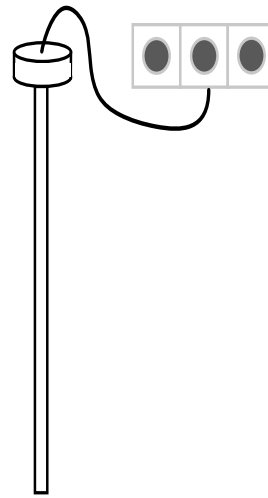


Figura 3.8 - Sensor capacitivo

O sensor escolhido é do tipo de diferença de pressão (DP), apresentado na Figura 3.9, cujo valor será o da diferença de pressão de dois locais, neste caso, medida a diferença de pressão atmosférica e da pressão aplicada pela coluna de água.



Figura 3.9 - Sensor de pressão MPX2010 [26]

O sensor de pressão utilizado é alimentado a 12 V, e mede uma gama de pressões de 0 até 10 Kpa. A gama de saída do sinal analógico varia entre 0 e 25 mV. A variação da tensão de saída pode observar-se no Gráfico 3.3. [27]

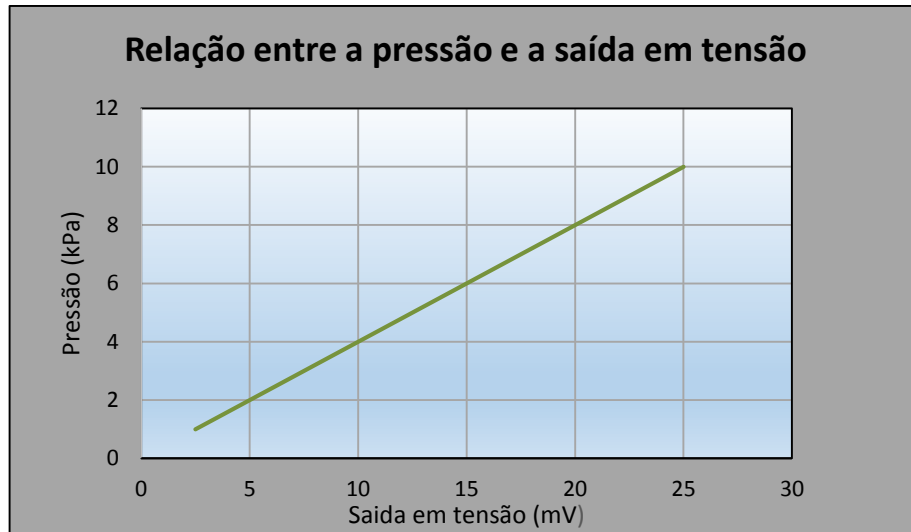


Gráfico 3.3 - Relação entre a pressão e a saída em tensão

A partir da variação do valor de pressão, é possível determinar o valor do nível de um fluido. Um fluido em repouso ou em movimento está sujeito à ação da gravidade, e as partes mais baixas do fluido suportam o seu peso. Segundo o teorema de *Stevin*, lei fundamental da hidrostática, "A diferença entre as pressões de dois pontos de um fluido em equilíbrio é igual ao produto entre a densidade do fluido, a aceleração da gravidade e a diferença entre as profundidades dos pontos". Na Figura 3.10, é possível perceber o teorema, de uma forma ilustrativa. [28]

O valor analógico devolvido pelo sensor corresponde à diferença de pressão ( $\Delta P_{AB}$ ) entre o fundo do tanque ( $P_B$ ) e a pressão atmosférica ( $P_A$ ) – Equação 3.1.

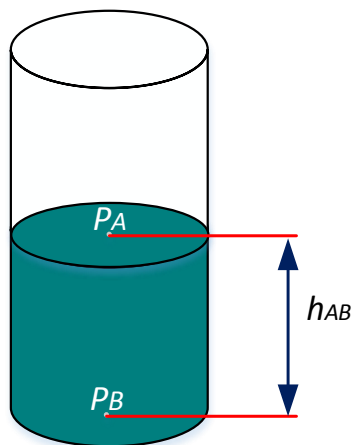


Figura 3.10 - Coluna de água

$$\Delta P_{AB} = d \cdot g \cdot h_{AB}$$

Equação 3.1 - Relação da pressão em função do nível

Em que:

***d*** – A densidade da água, à pressão normal e à temperatura de 25 °C, é de  $1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;

***g*** – A aceleração da gravidade é aproximadamente igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ ;

***h<sub>AB</sub>*** – Altura da coluna de água em metros.

Sabendo estas constantes e o valor de pressão medido pelo sensor, temos que a altura é dada pela Equação 3.2:

$$h_{AB} = \frac{(P_B - P_A)}{d \cdot g}$$

Equação 3.2 – Relação do nível em função da pressão

- **Sensor de iluminação**

Para medir o nível de iluminação, utilizou-se um sensor do tipo LDR, como na Figura 3.11, que varia o valor da sua resistência de  $10 \text{ k}\Omega$ , consoante a luz que incide sobre ele. Este sensor é relativamente barato.

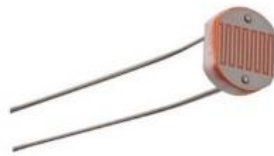


Figura 3.11 - Sensor de iluminação[29]

No escuro, as resistências dependentes da luz apresentam um valor elevado. No entanto, à medida que a radiação incide no componente, a sua condutividade aumenta, devido à diminuição da resistência equivalente aos seus terminais. No Gráfico 3.4, meramente representativo, pode perceber-se a forma como o sensor varia em função da iluminação que nele incide. Este tipo de sensor não mede da mesma forma que um aparelho específico para o efeito, pois está limitado, também, ao ângulo de incidência da luz. [23]

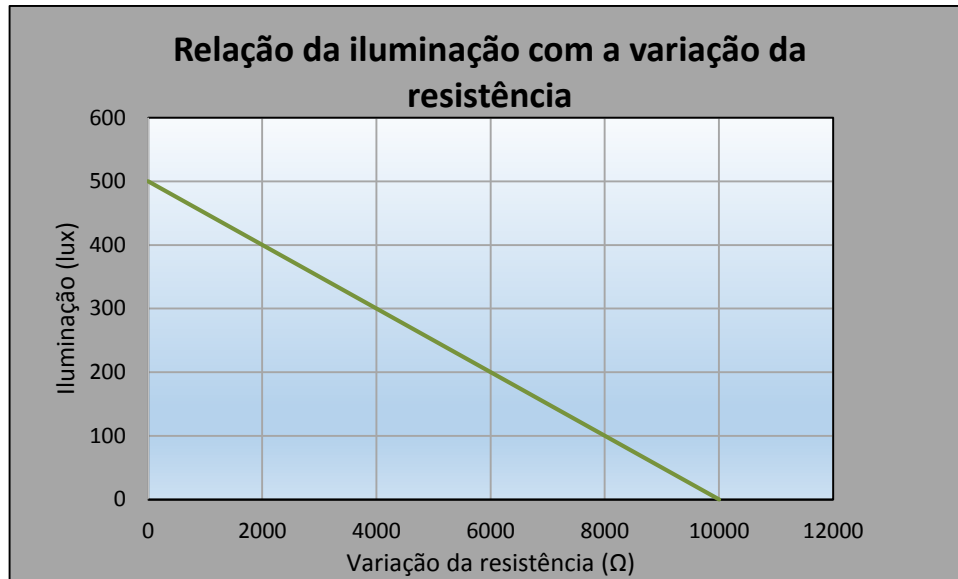


Gráfico 3.4 - Relação da iluminação com a variação da resistência

### 3.5 Atuadores

- **Eletroválvula**

Num sistema de controlo, é necessário que haja atuadores. No caso do controlo de um tanque de aquacultura, poderá haver diferentes atuadores, consoante a variável que se pretenda controlar. Os atuadores utilizados são do tipo liga/desliga. Na escolha da eletroválvula, analisaram-se as seguintes:

- Eletroválvulas do tipo *Alternating Current* (AC) - precisam de corrente alternada para comutar o seu estado. Têm um estado normalmente fechado e, quando é aplicada uma corrente alternada na bobina, força a válvula a abrir.
- Eletroválvulas do tipo *Direct Current* (DC) - têm um funcionamento idêntico às eletroválvulas AC, mas funcionam com corrente contínua.

No sistema, implementou-se uma eletroválvula modelo TFW-1S, igual à da Figura 3.12, do tipo DC, não sendo, portanto, necessário utilizar a do tipo AC. A eletroválvula utilizada é alimentada a 12 V e é normalmente fechada. Pretende-se que esta eletroválvula entre em funcionamento quando o nível da água estiver abaixo do nível ou da pressão pretendidas.

**Caraterísticas:**

- Tensão: 12 V DC;
- Corrente: 250 mA;
- Pressão: 0.02 - 0.8 Mpa;
- Modo de operação: normalmente fechada;
- Temperatura do fluido: 1 - 100 °C;
- Uso: água e fluidos pouco viscosos.



Figura 3.12 - Eletroválvula TFW-1S [30]

• **Bomba peristáltica**

As bombas peristálticas são de simples instalação e têm baixo custo de manutenção. Não possuem válvulas ou selos que possam entupir ou corroer. O fluido desloca-se pelos roletes que pressionam e fecham a mangueira, provocando, assim, o vácuo para a movimentação do fluido. O fluido não entra em contacto com nenhuma parte da bomba, exceto com a parte interna da mangueira.

No sistema, foram implementadas duas bombas peristálticas do tipo DC - Figura 3.13. As bombas utilizadas são alimentadas a 6 V e têm uma taxa de fluxo de líquido, no máximo de 60 ml/min, permitindo que seja doseado de forma mais controlada.

Pretende-se que as bombas entrem em funcionamento quando o nível de pH na água estiver abaixo do nível pretendido ou, acima, corrigindo-o dessa forma.

**Caraterísticas:**

- Tensão: 6 V DC;
- Corrente: 300 mA;
- Condições de trabalho: 0 – 40 °C;
- Taxa de fluxo: 0 - 60 ml/min;
- Velocidade de rotação: 0.1 - 100 rpm;
- Peso: 65g.



Figura 3.13 - Bomba peristáltica [31]



- **Resistência de aquecimento**

Para que a água se encontre sempre à temperatura pretendida, optou-se pela escolha de uma resistência de aquecimento, apresentada na Figura 3.14. A resistência escolhida garante o isolamento elétrico, tornando, assim, o sistema seguro. É uma resistência alimentada a 230 V e tem uma potência de 100 W. A limitação desta resistência poderá ser o mínimo de 16 °C e o máximo de temperatura de 32 °C.



Figura 3.14 - Resistência de aquecimento

- **Iluminação**

Para o efeito de simulação, recorreu-se a uma lâmpada incandescente de 100 W, simulando, desta forma, a iluminação artificial. Esta variável permite a iluminação de um tanque.



## 4 Implementação da solução proposta

Ao longo deste capítulo, serão abordados todos os pormenores no que diz respeito à implementação no sistema de aquacultura, relativamente aos elementos do *hardware* identificados.

### 4.1 Sistema implementado - *Hardware*

Na Figura 4.1, encontra-se apresentado, de uma forma genérica, todo o *hardware* implementado no sistema, bem como as ligações e as interfaces disponíveis.

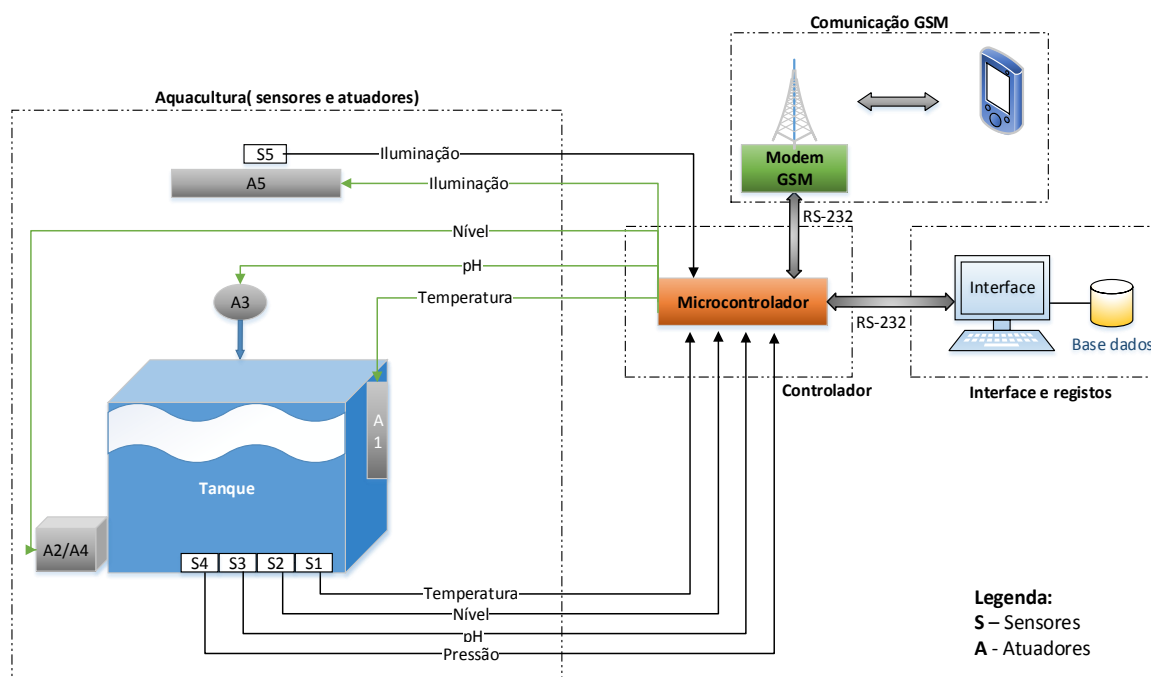


Figura 4.1 - Sistema implementado

#### 4.1.1 Microcontrolador

A necessidade da utilização do microcontrolador visa desenvolver uma solução, ao menor preço. Um outro elemento capaz de desempenhar a função de controlo seria um autómato, mas o preço seria consideravelmente mais elevado. No sistema implementado, este é o elemento principal, pois controla os dispositivos que o envolvem; controla os atuadores em função dos valores dos sensores, garantindo, assim, a estabilidade do sistema; comunica com as interfaces aplicadas no sistema; adquire os valores dos sensores aplicados, permitindo que seja feita a sua monitorização; emite alertas, via GSM, caso alguma variável não atinja o valor pretendido; controla o sistema, através do GSM.

Para a implementação deste elemento no sistema, utilizou-se uma placa de desenvolvimento, como a da Figura 4.2, produzida pela empresa *Olimex*. [32] A placa de desenvolvimento utiliza o microcontrolador 18F97J60. Esta escolha deve-se, essencialmente, ao módulo do GSM/GPRS, já

inserido na placa. Contudo, esta placa será apenas utilizada ao longo do desenvolvimento do protótipo, visto que, para o funcionamento de uma grande quantidade de tanques, os custos seriam elevados. De modo a conter os custos, poderiam implementar-se, no mesmo sistema, dois componentes isolados, um microcontrolador e um *modem*, o que permitiria evitar a utilização da placa de desenvolvimento aplicada neste projeto.

O código desenvolvido poderia ser reutilizado com um microcontrolador similar, sem necessidade de grandes alterações ao nível do código.



Figura 4.2 - Placa de desenvolvimento [33]

A placa de desenvolvimento tem vários pinos acessíveis que estão ligados aos pinos do microcontrolador, como entradas analógicas ou entradas e saídas digitais.

Esta placa utiliza um cristal de 25 MHz, para geração do relógio do microcontrolador, e necessita de uma alimentação de 12 V. Alguns pinos do microcontrolador têm funções específicas, podendo funcionar como uma porta série. Nesta placa existem duas, estando uma direccionada para comunicar com o módulo GSM e a outra com o PC.

O microcontrolador gera interrupções que permitem gerir o programa para que umas ações prevaleçam sobre outras, desviando o processamento do programa para uma sub-rotina, criando, deste modo, prioridades. O microcontrolador permite comunicar, segundo o protocolo de *Serial Peripheral Interface* (SPI) e *Inter-Integrated Circuit* (I2C), com outros dispositivos. Os pinos referentes às entradas analógicas encontram-se ligados ao *Analog-to-Digital Converter* (ADC) do microcontrolador, apresentando uma resolução de 10 bits.

### 4.1.2 Circuitos implementados

Neste ponto, são abordados os circuitos que auxiliam o funcionamento dos sensores e os respetivos atuadores.

Este foi um ponto demorado ao longo do trabalho, tanto do ponto de vista de funcionamento, como de ajustes das gamas de funcionamento. Uma das dificuldades neste tipo de sistemas sensoriais reside no condicionamento de sinais de muito baixa amplitude, tendo em consideração as interferências eletromagnéticas do ambiente envolvente e outros efeitos secundários que levam a uma degradação do sinal. Na Figura 4.3, representa-se, de uma forma geral, o tratamento a que o sinal dos sensores foi sujeito.

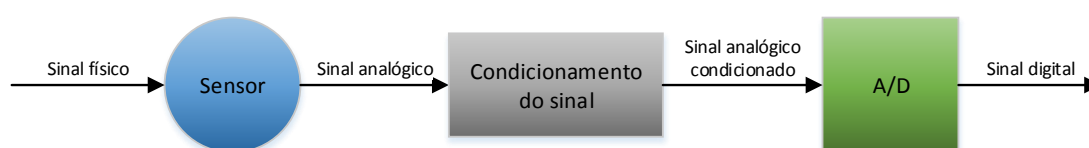


Figura 4.3 - Condicionamento do sinal

#### 4.1.2.1 Funcionamento dos sensores

- **Sensor de temperatura**

Para que se conseguisse medir o valor da temperatura, utilizou-se um sensor do tipo *Resistance Temperature Detector* (RTD) PTC 1000 que possibilita a medição dentro das gamas pretendidas. O comportamento deste sensor não é linear, pelo que se recorreu à equação do comportamento da temperatura, em função da resistência, de modo a obter-se o mínimo erro possível.

Para que se consiga interpretar a grandeza, através do microcontrolador, é fundamental o desenvolvimento do *hardware* para condicionar o sinal, isto é, para que seja retirado o maior partido do sensor em termos de gama e de resolução lida pelo microcontrolador.

No desenvolvimento do *hardware*, implementou-se uma ponte de *Wheatstone*, conseguindo, desta forma, descobrir qual o valor do PTC 1000. Posteriormente, ampliou-se o valor da diferença de tensão com um determinado ganho, para obter uma gama adequada para o microcontrolador. A variação do PTC é:  $485 < R(\Omega) < 1679$ . [25]

Para a ampliação da diferença de tensão, recorreu-se a um amplificador de instrumentação. A gama do sensor é dos  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  até aos  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  e, segundo o seu fornecedor, o ponto de referência de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  apresenta uma resistência de cerca de  $1000\text{ }\Omega$ . A ponte de *Wheatstone* de  $1\text{ k}\Omega$ , aos  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , apresenta uma diferença de tensão, entre os pontos intermédios, de aproximadamente  $0\text{ mV}$ . A diferença de tensão variará em torno deste valor e, no máximo, a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  apresentará  $\approx -418\text{ mV}$  e a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\approx 500\text{ mV}$ . Amplificando o sinal com um ganho (G) de 2,5, através da Equação 4.1, obtém-se a resistência de ganho de  $66\text{ k}\Omega$ . Colocando um ponto de referência de  $1,65\text{ V}$ , é possível obter,

à entrada do microcontrolador, uma gama de valores entre 0,2 V e 2,8 V. De seguida, é colocado um amplificador com a configuração de seguidor de tensão (Figura 4.4), que permite que, em caso de alguma anomalia, não seja aplicada uma tensão superior à que o microcontrolador suporta. O sinal apresentado à saída do amplificador estará ligado à entrada analógica do microcontrolador AN7. [34]

$$G = \frac{100k\Omega}{R_g} + 1 \Leftrightarrow R_g(R_{22}) = 66 k\Omega$$

Equação 4.1 - Equação de ganho do AD623

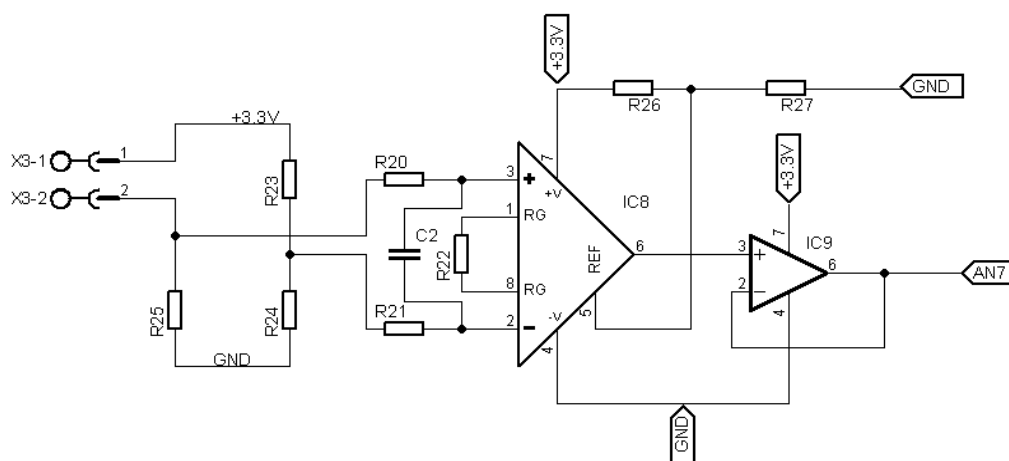


Figura 4.4 - Circuito do sensor de temperatura

Após o desenvolvimento do *hardware*, procedeu-se ao desenvolvimento do código que permite ler, converter e ajustar o valor apresentado no ADC, numa grandeza física. A resolução do ADC utilizada é de 8 *bits*, o que corresponde a uma resolução inferior a um grau por cada bit. Através do Gráfico 4.1, é possível entender a conversão do valor do ADC em temperatura.

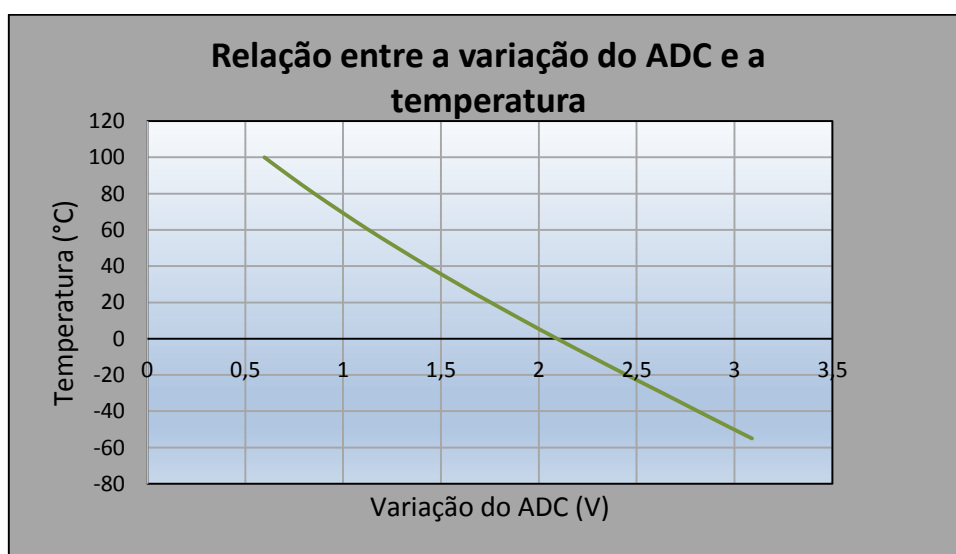


Gráfico 4.1 - Relação entre a variação do ADC e a temperatura

- **Sensor de pH**

De modo a determinar o valor, utilizou-se um elétrodo específico, que tem a capacidade de medir dentro da escala de pH. O elétrodo escolhido é composto por um circuito associado, como se pode visualizar na Figura 4.5, que apresenta uma saída analógica, que varia em função do valor do pH. O circuito permite que se calibre uma tensão de referência, sendo possível ajustá-lo para determinado valor, em função do pH.



Figura 4.5 - Circuito associado ao elétrodo de pH [35]

O circuito tem como característica a variação do valor da tensão de cerca de 59 mV por cada valor de pH. Assim, definiu-se um valor de referência de 3,3 V para um valor de pH igual a 7. Desta forma, por cada valor de aumento do pH descia 59 mV, ou, por cada valor que diminuísse o pH subia 59 mV. Tal como no sensor de temperatura, foi necessário condicionar o sinal gerado pelo circuito associado ao elétrodo para que o microcontrolador conseguisse obter a melhor gama de valores de entrada, recorrendo-se a um amplificador de instrumentação em que se verificou a variação em torno dos 3,3 V, obtida pelo sensor. Nesta circunstância, o sensor pode apresentar, no máximo, uma tensão de 3,7 V ( $3,3 \text{ V} + 7 \text{ vezes } 59 \text{ mV}$ ), correspondendo ao valor 0 de pH, e, no mínimo, uma tensão de 2,89 V ( $3,3 \text{ V} - 7 \text{ vezes } 59 \text{ mV}$ ), correspondendo a pH=14, variando 414 mV, positiva ou negativamente, em torno dos 3,3 V. Seguidamente, utilizando a Equação 4.1 ( $R_G=R_{17}$ ), o valor da variação é amplificado com um ganho de 3 e aplicada uma tensão de referência de 1,65 V. Então, à saída, o sinal irá variar entre 0,5 V e 2,9 V, conseguindo-se que a gama de entrada fique no intervalo de 0 a 3,3 V, para ter uma boa leitura no ADC que, no microcontrolador, corresponde à entrada AN9. Tal como na Figura 4.4, onde é colocado um seguidor de tensão como proteção, será também colocado no circuito da Figura 4.6.

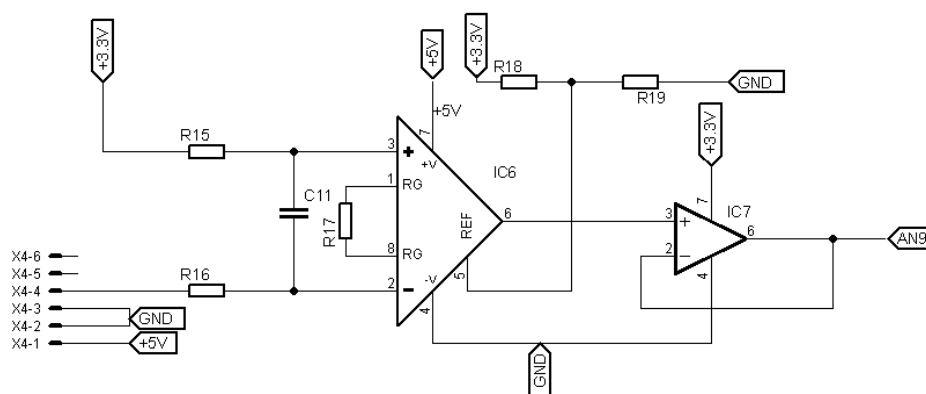


Figura 4.6 - Esquema de ligações do sensor de pH

Depois do *hardware*, foi desenvolvido o código para o microcontrolador que visa converter o valor lido no ADC no valor de pH. A resolução do ADC utilizada é de 8 *bits*, ou seja, têm-se 255 níveis para determinar 14 valores. Através do Gráfico 4.2, pode comparar-se como varia o valor de pH, em função do valor apresentado no ADC.

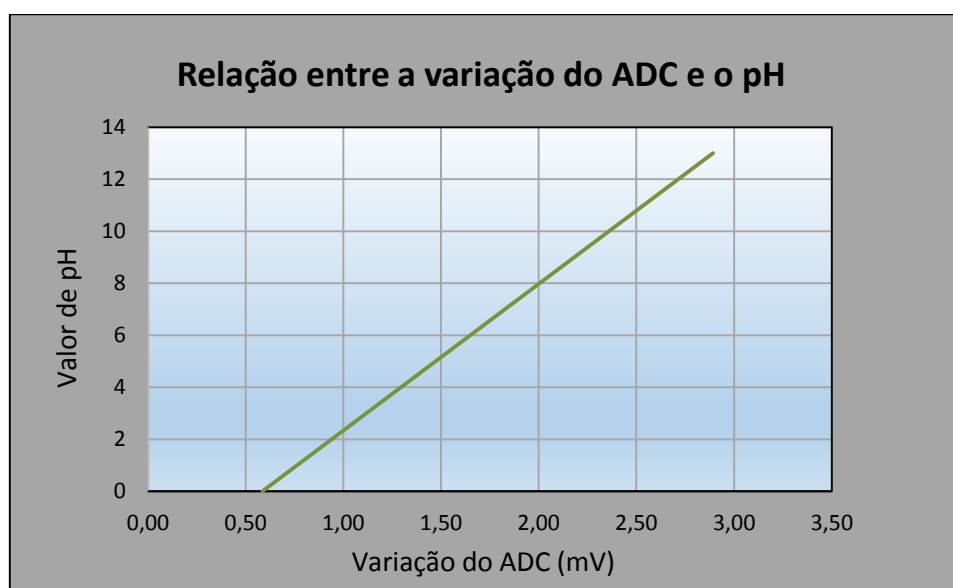


Gráfico 4.2 - Relação entre a variação do ADC e o pH

- **Sensor de nível**

O sensor de nível utilizado, não sendo específico para este fim, foi utilizado devido à sua precisão. Uma vez que há uma relação entre a pressão e a altura de um líquido, testou-se a sua aplicação. O sensor utilizado permite medir até um metro, devido à sua limitação de leitura do valor de pressão (10 kPa). Caso se pretendesse, poderia ter sido utilizado um do mesmo modelo, mas com maior gama de leitura. A gama de leitura deste sensor é de 0 a 10 kPa. O valor que o sensor apresenta é um valor analógico, que varia entre 0 e 25 mV, correspondendo, proporcionalmente, ao valor de pressão.



Este sensor tem quatro pinos, dois deles são de alimentação, respetivamente 12 V e massa, os outros dois são as saídas correspondentes à pressão em cada um dos orifícios. Se os dois orifícios estiverem sujeitos apenas à pressão atmosférica, apresentam o mesmo valor; se um estiver sujeito à pressão atmosférica e outro submerso em água, apresentam valores diferentes, sendo que o valor do nível de água é obtido pela diferença de pressões entre os dois orifícios.

Nesta situação, utilizou-se um amplificador de instrumentação para comparar e amplificar o valor da diferença de pressões entre os dois orifícios - Figura 4.7 - com um ganho de 130, de modo a conseguir a gama de entrada de 0 a 3,3 V, que permite a maior resolução do ADC. O ADC, no microcontrolador, corresponde à entrada AN8. Através da Equação 4.1 e da determinação do ganho, obtém-se uma resistência de ganho (R1). Tal como nos outros dois sensores anteriores, neste circuito também foi colocado um amplificador utilizado como seguidor de tensão, com o mesmo objetivo, ou seja, proteger o microcontrolador.

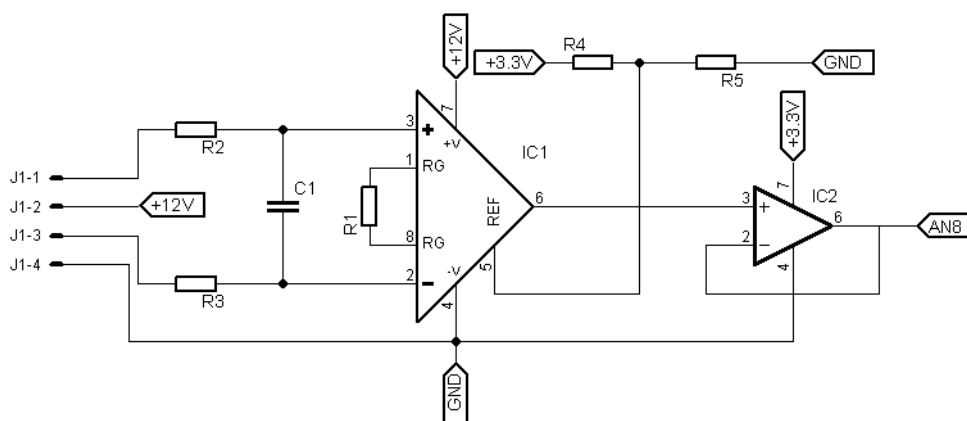


Figura 4.7 - Esquema de ligações do sensor de pressão

O código desenvolvido, posteriormente, irá converter o sinal lido, no ADC, no valor físico pretendido, neste caso, kPa. No Gráfico 4.3, é possível relacionar, de uma forma mais concreta, os valores da pressão em função do valor do ADC.

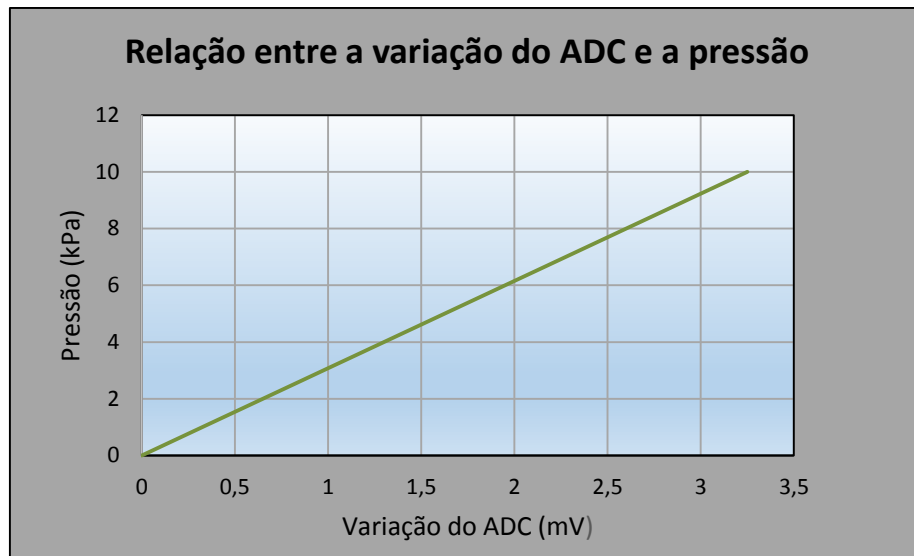


Gráfico 4.3 - Relação entre a variação do ADC e a pressão

Como foi apresentado no Capítulo 3.4, pode entender-se que a relação entre a pressão e o nível de uma coluna de água é direta, desde que a densidade do fluido, neste caso a água, se mantenha constante ou pouco variável. Assim, é possível determinar que, para uma pressão de 0 kPa, temos uma altura de 0 cm e, para uma pressão de 10 kPa, temos uma altura de 100 cm. Os cálculos apresentados de seguida foram efetuados com base na Equação 3.2.

Em que:

$P_B$  – Pressão no fundo da coluna de água;

$P_A$  – Pressão atmosférica;

$d$  – A densidade da água doce, à pressão normal e à temperatura de 25 °C, é de  $1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;

$g$  – A aceleração da gravidade é aproximadamente igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ ;

$h_{AB}$  – Altura da coluna de água em metros.

Assim para  $(P_B - P_A) = 0$ :

$$h_{AB} = 0 \text{ cm}$$

E para  $(P_B - P_A) = 10 \text{ kPa}$ :

$$h_{AB} = \frac{(10000)}{1,0 \cdot 10^3 \cdot 9,8} \approx 1 \text{ m} \approx 100 \text{ cm}$$

A variação do nível desenvolvido está diretamente relacionada com a pressão, portanto, assim que o valor do ADC do sensor de pressão variar, o do nível também varia. Esta relação está representada no Gráfico 4.4.

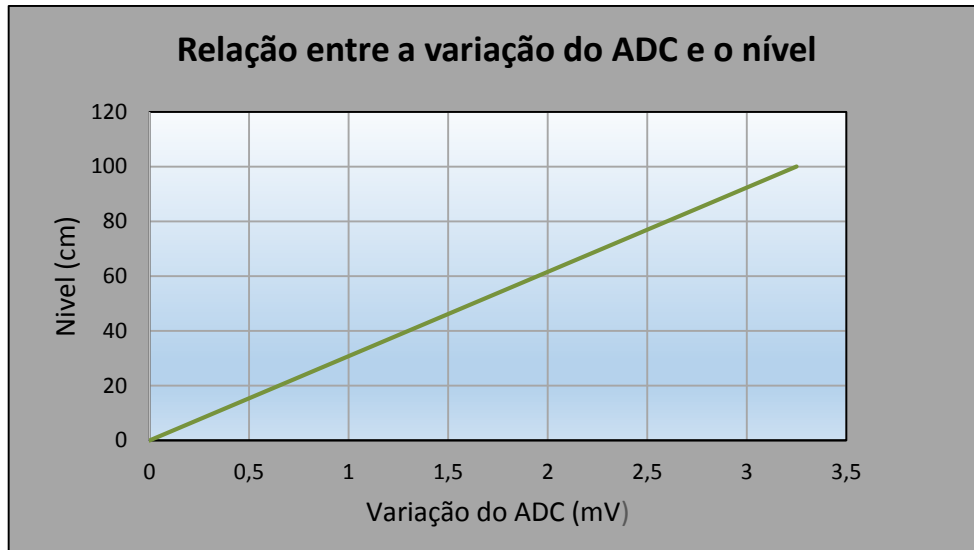


Gráfico 4.4 - Relação entre a variação do ADC e o nível da água

- **Sensor de iluminação**

O sensor utilizado para detetar a iluminação é um LDR, cujo valor da resistência varia consoante a luz incidente. Este sensor é alimentado a 5 V e apresenta uma tensão entre 0 e 5 V. Este valor foi convertido para a gama de 0 a 3,3 V, com o intuito de obter a melhor gama de leitura pelo ADC. O LDR utilizado gera até 5 V, pelo que foi aplicado um divisor resistivo, para que, quando o LDR apresente 5 V, o divisor apresente 3,3 V - Figura 4.8.

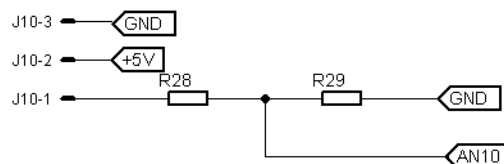


Figura 4.8 - Esquema de ligações do sensor de iluminação

Depois do *hardware* desenvolvido, procedeu-se à elaboração do código para o microcontrolador, capaz de converter o valor lido, no ADC, para o valor de iluminação. A resolução utilizada do ADC é 8 *bits*, ou seja, têm-se 255 níveis. Através do Gráfico 4.5, pode comparar-se como varia o valor da iluminação em função do valor apresentado no ADC, entrada AN10. A conversão dos valores do ADC para valor da medida lux, foi efetuada com recurso a um aparelho específico, o luxímetro com o modelo TES1332.

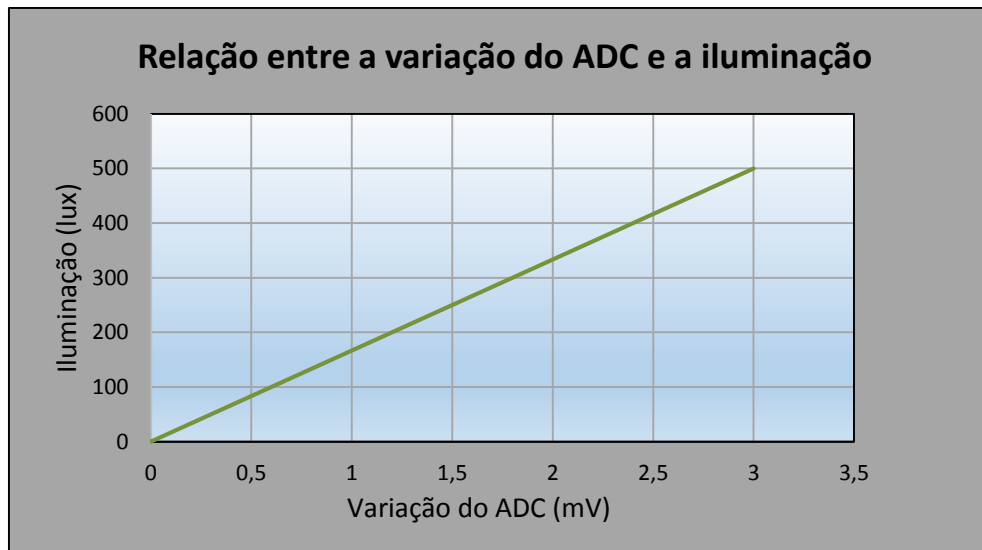


Gráfico 4.5 - Relação entre a variação do ADC e iluminação

#### ➤ Placa desenvolvida para leitura de sensores

Inicialmente, implementaram-se todos os circuitos em placas de teste, permitindo detetar possíveis erros e corrigi-los. Posteriormente, desenvolveu-se uma *Printed Circuit Board* (PCB), tornando o circuito mais compacto e seguro. (ANEXO C) Na Figura 4.9, apresenta-se o *layout* da placa desenvolvida. Embora a placa não tenha sido fabricada, ficou pronta a ser produzida. (ANEXO A)

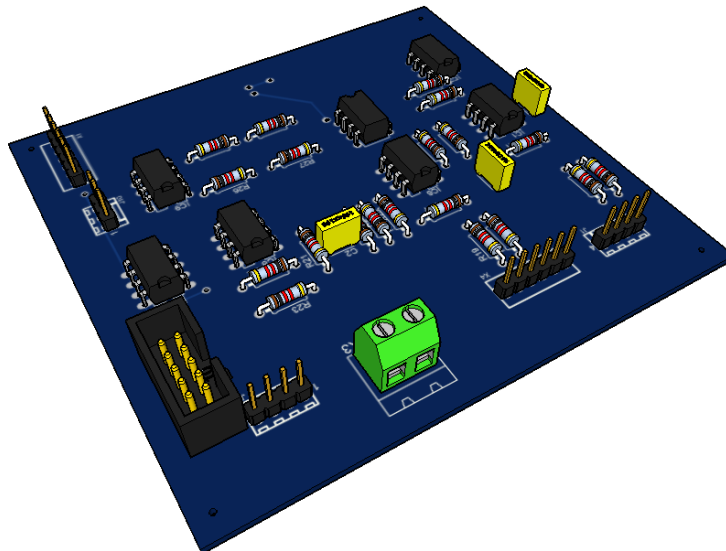


Figura 4.9 - *Layout* da placa desenvolvida para sensores 3D

#### 4.1.2.2 Funcionamento dos atuadores

Neste ponto, pretende-se apresentar e explicar os circuitos de acionamento implementados, que permitiram controlar os atuadores utilizados.

- **Eletroválvula**

A eletroválvula utilizada requer uma tensão de 12 V para que seja acionada. Como a saída digital do microcontrolador é de 3,3 V, é necessário desenvolver um circuito que ative a eletroválvula.

O elemento atuador utilizado é um MOSFET, observado na Figura 4.10, que atua a partir da saída RE3, do microcontrolador e que possui proteção contra curto-circuito e sobreaquecimento. Se, em alternativa, fosse utilizado um relé, o consumo e o tempo de resposta seria superior. Para que o MOSFET se encontre no modo inativo (com o canal fechado), é necessário, segundo o documento técnico, aplicar uma tensão entre a *gate* e *source* ( $V_{gs}$ ) de 0 V. Para garantir que fica a 0 V, foi aplicada uma resistência de *pull-down*. Para que este esteja no modo ativo, é necessário que haja uma tensão mínima de 2 V. [36]

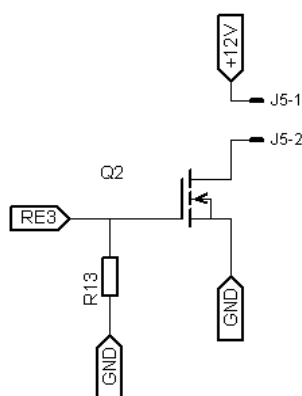


Figura 4.10 - Esquema de ligações da eletroválvula

A eletroválvula equivale a uma indutância e, por isso, aplicando uma tensão constante, irá ter um consumo relativamente elevado de corrente.

- **Acionamento de potência**

Para o acionamento de uma lâmpada e resistência, tratando-se de uma tensão do tipo AC que é relativamente elevada, face ao restante circuito, houve o cuidado de isolar o circuito de comando e o de carga, através de um componente opto-triac – MOC3021. Evitou-se, assim, que se misturassem os circuitos, pois, este componente isola, funcionando através de um feixe de luz ótico, apresentado na Figura 4.11. O acionamento é feito através do microcontrolador, pela saída RE1 e RE2.

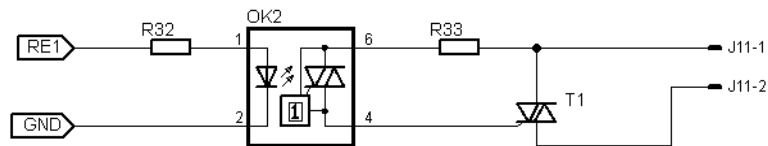


Figura 4.11 - Esquema de ligações do atuador de potência

O *triac* é um componente indicado para o controlo de dispositivos, responsável pelo acionamento da lâmpada e da resistência para aquecer a água, entrando em condução quando lhe é aplicado um pulso na *gate*. O *triac* utilizado está limitado a uma corrente máxima de 4 A. [37]

A escolha recaiu sobre o *triac* pelo facto de, em relação ao relé, não ter desgaste mecânico e ser um elemento mais compacto.

- **Bombas peristálticas**

Para o controlo de cargas DC, como é o caso das bombas peristálticas, recorreu-se a um MOSFET, sendo alternativa ao relé caso as tensões e as correntes sejam baixas, como o caso de motores e eletroválvulas. O MOSFET utilizado apresenta proteção contra curto-circuito e sobreaquecimento, bem como permite sinais de comando - Figura 4.12. O acionamento das bombas é feito através do microcontrolador, pela saída RE5 e RE6. No circuito representado, é utilizada uma resistência *pull-down*, de forma a garantir que a tensão é 0V quando o sinal do microcontrolador é 0 V. [36]

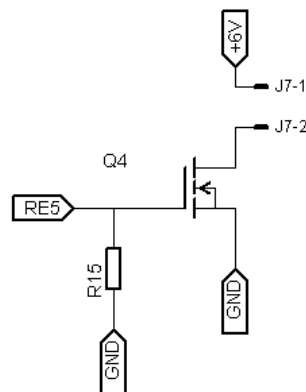


Figura 4.12 - Esquema de ligações da bomba peristáltica

- **Placa desenvolvida para atuadores e alimentação do circuito**

Em relação a estes atuadores, optou-se por fazer uma placa que envolvesse todos os circuitos. Inicialmente, implementaram-se os circuitos em placas de teste, tal como na placa de sensores, evitando cometer erros sem resolução. Na Figura 4.13, apresenta-se o *layout* da placa desenvolvida. A placa, tal como a de leitura de sensores, ficou pronta a ser fabricada. (ANEXO B)

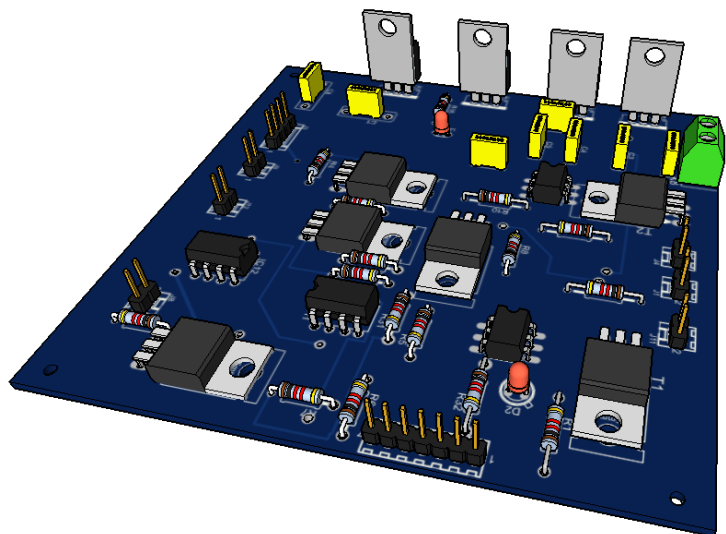


Figura 4.13 - Layout da placa desenvolvida para atuadores 3D

Na Tabela 4.1, encontra-se um resumo dos dispositivos atuadores que se pretendem acionar, bem como dos tipos de comando utilizados.

Fatores	Dispositivos Atuadores	Tipo de Comando	Tipo de controlo	Alimentação
Iluminação	Lâmpada	Triac	Liga/Desliga	230V AC
Aquecimento	Resistência de aquecimento	Triac	Liga/Desliga	230V AC
Solução ácida	Bomba peristáltica	Mosfet	Liga/Desliga	6V DC
Solução básica	Bomba peristáltica	Mosfet	Liga/Desliga	6V DC
Nível	Electroválvula	Mosfet	Liga/Desliga	12V DC

Tabela 4.1 - Resumo de dispositivos atuadores

#### 4.1.2.3 Fonte de alimentação

Para a projeção da fonte de alimentação, teve-se em consideração o consumo de todo o sistema, tendo sido adaptada, consoante as necessidades, ao longo do trabalho. Depois da implementação de todo o sistema, verificou-se que, para a sua alimentação, era necessária uma tensão de 15 V. Segundo o documento técnico, o regulador utilizado exige uma diferença de tensão de 2 V entre a tensão de entrada e a tensão de saída, estando limitada a uma tensão máxima de entrada de 35 V. Em relação à corrente, o sistema tem um consumo de 40 mA, quando está em repouso - quando

os atuadores estão todos desligados-, sendo que, quando os atuadores estão ativos, tem um consumo de cerca de 600 mA.

Estes valores, obtidos através da fonte de alimentação disponível no laboratório, dão-nos a informação da corrente e da tensão consumida em cada instante. Depois de explorados estes detalhes, construiu-se o circuito para alimentar o sistema.

Inicialmente, procurou-se um transformador que garantisse estas limitações, 15 V e 600 mA. No entanto, obteve-se um que fornecia 15 V e 1 A. De seguida, abordou-se a questão de obter as tensões necessárias no sistema - 3,3 V, 5 V, 6 V e 12 V -, a partir do transformador. O regulador de 3,3 V exige uma diferença de tensão de 1,3 V e suporta uma tensão máxima de 20 V, enquanto os reguladores de 6 V e de 5 V exigem uma diferença de tensão de 2 V, sendo alimentados a partir do regulador de 12 V. A Figura 4.14 dá-nos uma visão do circuito desenvolvido e como foram efetuadas as ligações, de modo a conseguir os valores pretendidos. O sistema tem um consumo, no máximo, de 9 W e, quando em repouso, de 0,6 W. No desenvolvimento da PCB, decidiu-se incluir este circuito na placa de atuadores (Figura 4.13), deixando disponíveis os pinos de alimentação para ligar à placa de sensores.

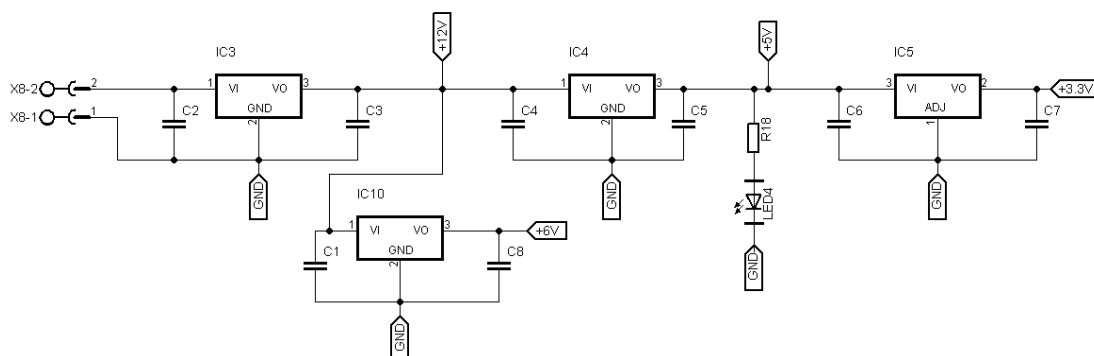


Figura 4.14 - Esquema de ligações da alimentação

## 4.2 Controlo

Nesta secção, aborda-se a execução de cada parte do programa do microcontrolador, tornando-se perceptível o que foi necessário no desenvolvimento do programa do sistema e as soluções encontradas, mediante os desafios. O desenvolvimento do programa do microcontrolador tem como base a linguagem C.

No modelo implementado, o microcontrolador comunica com o bloco de sensores; gere a informação recebida e interpretada, a partir do ADC; envia informação para um PC, pela porta série ou para um terminal remoto, via GSM; controla o sistema.

Inicialmente, foi implementado um protocolo de transferência de mensagens com a intenção de comunicar com o PC. Este protocolo define uma trama que diferencia os tipos de mensagens e



ignora as não formatadas, segundo essa estrutura. Na Tabela 4.2, representa-se a estrutura da trama. O primeiro *byte* da trama que define o endereço, no programa desenvolvido, tem sempre o mesmo valor, uma vez que só foi utilizado um tanque. O *byte* referente à função está relacionado com o tipo de ação que o recetor irá tomar com os dados recebidos.

Endereço	Função	Dados
1 <i>byte</i>	1 <i>byte</i>	10 <i>bytes</i>

Tabela 4.2 - Trama de troca de mensagens

A troca de mensagens entre o microcontrolador e o PC é feita através do formato referido, sendo que o microcontrolador envia regularmente informação para o PC, de modo a manter a informação atualizada. O inverso, ou seja, a informação no sentido PC - microcontrolador só ocorre quando alguma ação é tomada na interface desenvolvida. Esta interação é ilustrada na Figura 4.15.

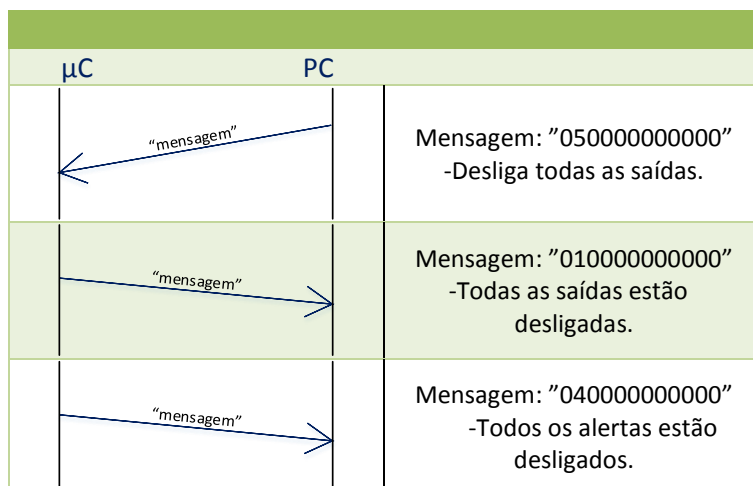


Figura 4.15 - Exemplo de troca de mensagens entre o microcontrolador e o PC

As funções apresentadas na Tabela 4.3 são válidas na comunicação entre o microcontrolador e o PC, correspondendo cada código à função indicada. Cada *byte* de dados está associado a uma entrada, uma saída ou um registo, consoante a sua posição. (Anexo E)

Código da Função	Função
0x01	Leitura de saídas digitais
0x02	Leitura de entradas
0x03	Leitura de registos
0x04	Leitura de alertas
0x05	Ativa saídas digitais
0x07	Ativação de registo de alarmes

Tabela 4.3 - Lista de funções de comunicação porta série

O programa desenvolvido permite que sejam configurados os limites de cada variável lida pelos sensores. Com esta configuração, o programa controla o sistema, verificando se as variáveis se encontram dentro dos intervalos definidos. Se as variáveis não se encontrarem dentro dos limites, o sistema irá atuar em conformidade, ou seja, caso uma variável atinja um limite mínimo, será acionado o atuador correspondente para alterar o valor da variável; caso atinja o limite máximo, o atuador desligar-se-á. Para melhor compreensão, pode observar-se a Figura 4.16. Os valores dos limites são estabelecidos através do *software* desenvolvido ou, ainda, através do SMS.

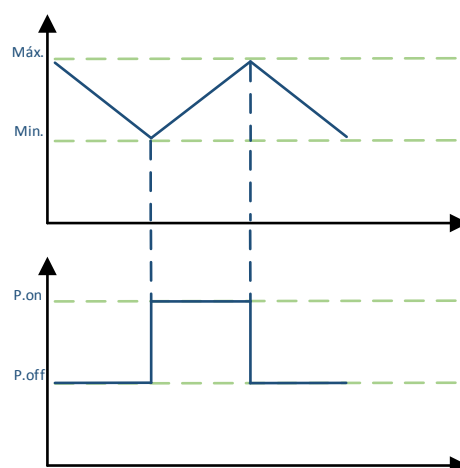


Figura 4.16 - Controlo do sistema autónomo

No caso do pH, o controlo é idêntico, embora, o atuador não seja desligado quando é atingido o limite máximo, mas quando atinge o valor intermédio entre o máximo e o mínimo, o que permite controlar o pH quando está acima do limite máximo e abaixo do mínimo.

Para o microcontrolador do sistema comunicar com o PC e com o *modem* GSM, foi necessário fazer a ligação série, através do protocolo *Recommended Standard 232 (RS-232)*. Para poder interagir com o *modem*, através da porta série, é necessário enviar comandos AT para que as mensagens sejam interpretadas pelo dispositivo. Todos os valores dos sensores, depois de condicionados, são recolhidos pelos ADC do microcontrolador, sendo a leitura efetuada pelo programa, a cada segundo. Posteriormente, caso algum dos valores lidos esteja fora dos valores pretendidos, o microcontrolador enviará um alerta para o operador do sistema, informando-o do acontecimento.

O programa, Figura 4.17, depois do sistema ligado à corrente, inicia o microcontrolador, configura as portas de entrada e saída e as interfaces do sistema. Esta é a parte inicial do programa que, a partir deste momento, entra num ciclo infinito que só será quebrado por falha de energia ou pelo acionamento do botão *reset*, presente na placa do microcontrolador. Depois, é feita a leitura

do valor de tensão do ADC e é convertido no valor equivalente à unidade correspondente de cada sensor. De seguida, é enviado pela porta série para o PC, assim como a restante informação - estado dos atuadores, limites definidos, alertas emitidos. Caso haja alguma variável fora do pretendido, o sistema envia uma mensagem para o PC e/ou para um número pré-programado com a mensagem “Temperatura abaixo” ou “Temperatura acima”, dependendo da situação em causa. No programa desenvolvido, não há prioridade entre a informação recebida, através do SMS, ou através do PC, isto é, a última informação a chegar é a que prevalece.

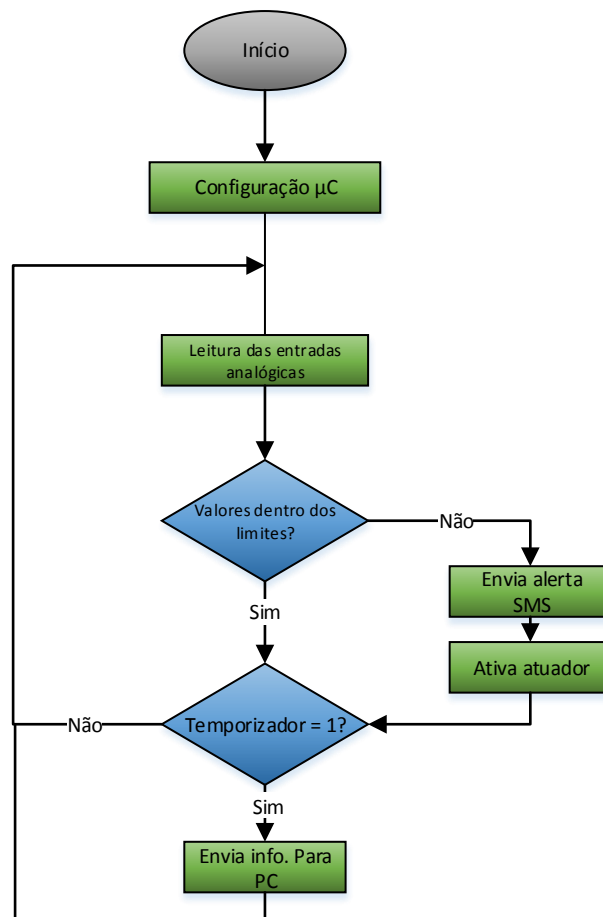


Figura 4.17 - Funcionamento do programa

### 4.3 Serviço via SMS

Neste tópico, é abordada a comunicação do microcontrolador com o *modem* GSM, a configuração do modem, as trocas de mensagens válidas e os tipos de mensagens que o sistema está preparado para receber.

Na utilização do GSM, inicialmente, era necessário inserir o *Personal Identification Number* (PIN), que foi desativado de forma a ultrapassar essa proteção, uma vez que se considerou pouco

relevante nesta aplicação. São, então, recebidas mensagens de inicialização do *modem* GSM, que quando concluídas, o microcontrolador configura o *modem* e aguarda a receção de alguma mensagem do *modem* e fica preparado para enviar.

Todos os dados provenientes do *modem* GSM, sejam inicializações, mensagens de texto, ou outro tipo de informação são recebidos pelo microcontrolador através da porta série.

A partir do fluxograma representado na Figura 4.18, entende-se o modo implementado de interação entre o microcontrolador e o *modem*. Assim que o sistema é ligado, são feitas as configurações do microcontrolador, como a configuração da porta série, as interrupções e os *timers*. Seguidamente, entra num ciclo onde é configurado o *modem*, que fica pronto para enviar e receber mensagens da rede. As mensagens enviadas para o *modem* terminam sempre com *Carriage Return* (CR) em *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) '\r'. As mensagens recebidas do *modem* têm a seguinte estrutura <CR><LF><resposta><CR><LF>, onde *Line Feed* (LF) corresponde em ASCII '\n'. [38]

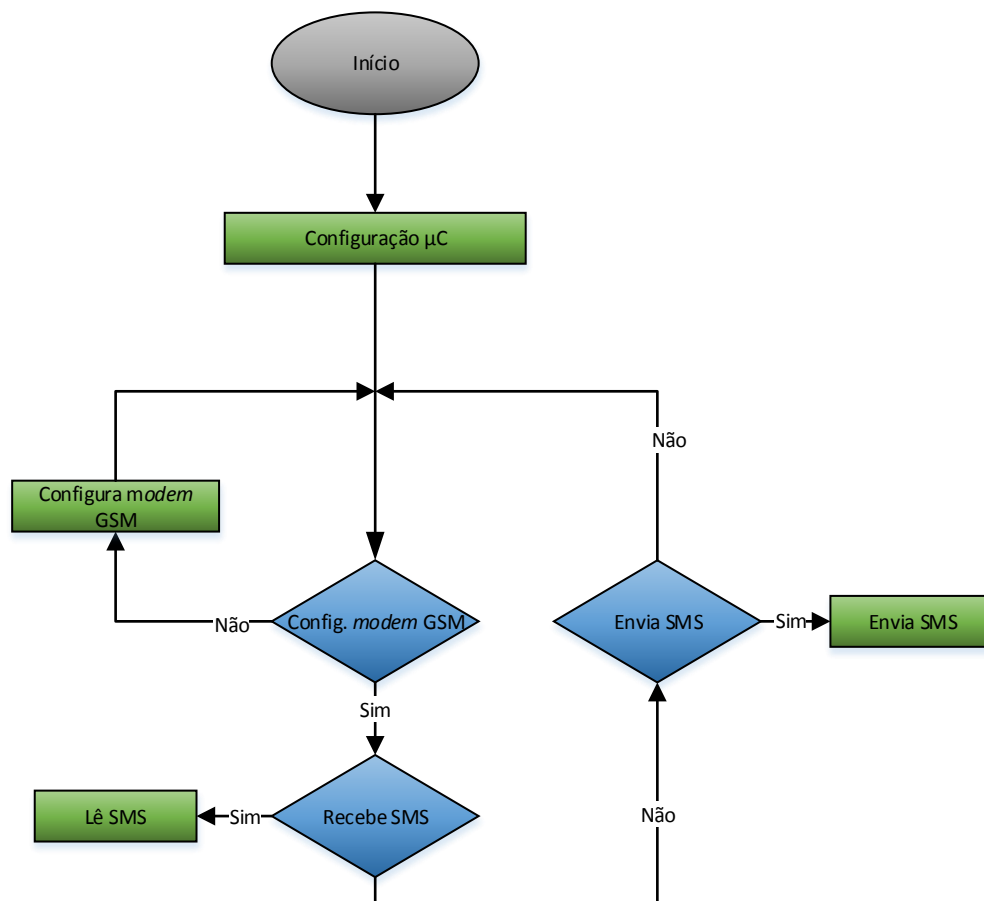


Figura 4.18 - Implementação do sistema via SMS

Para o *modem* funcionar do modo pretendido, é preciso configurá-lo, uma vez que permite vários modos de funcionamento. Um exemplo ilustrativo é que, quando se comunica com ele, a sua resposta inclui o que foi enviado e o que lhe foi pedido. No entanto, como não havia interesse nesta funcionalidade, na devolução do que foi enviado, esta funcionalidade foi desativada através do comando ATE0. A configuração escolhida do tipo de mensagem foi o modo texto, em que os dados são enviados em ASCII, na medida em que cada *byte* da trama da mensagem corresponda a um carater. No caso do modo *Protocol Data Unit* (PDU), não é possível interpretar imediatamente, sendo necessário decifrá-la. Na Figura 4.19, demonstra-se a sequência em que o *modem* é configurado.

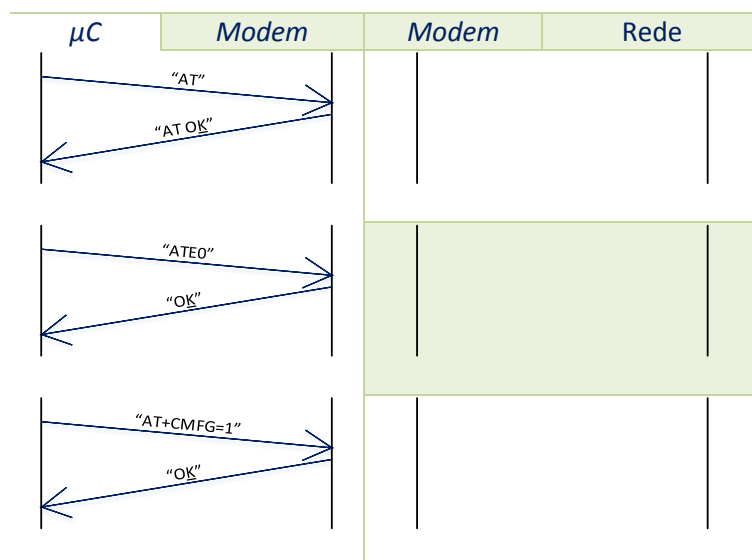


Figura 4.19 - Sequência de configuração do *modem*

Quando ocorre algum evento externo no *modem*, vindo da rede, neste caso, a receção de um SMS, não é necessário o envio de qualquer comando para perceber o evento ocorrido. O *modem* encarrega-se de enviar, pela porta série, uma notificação, que é uma mensagem característica. No caso do SMS, é "+CMTI:". Após a receção da notificação, inicia-se o processo de leitura (Figura 4.20), lendo a mensagem da posição 1 que, de seguida, é apagada. Assim, garante-se que a próxima mensagem recebida fica guardada na posição 1, novamente.

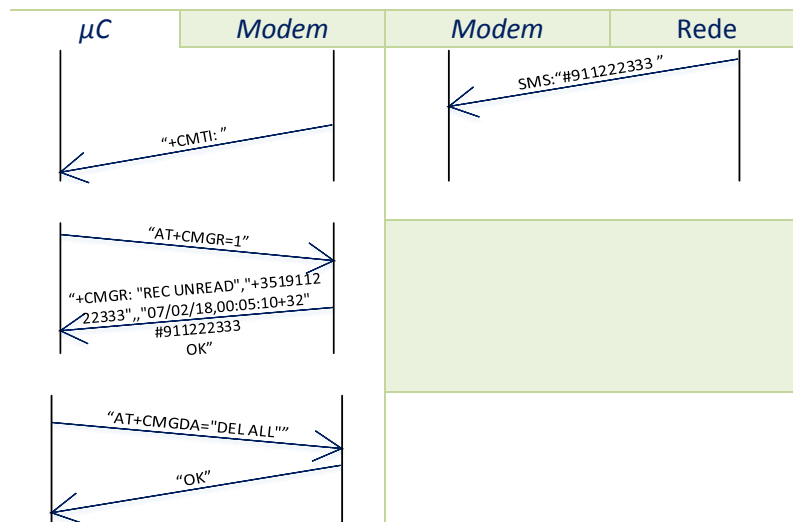


Figura 4.20 - Sequência de receção do SMS

Por fim, na fase de envio do SMS, o microcontrolador envia o comando a identificar o número do destinatário e, posteriormente, envia o texto da mensagem. A sequência e a resposta do *modem* pode ser observada na Figura 4.21. Os comandos são enviados sequencialmente e, para que se considere que o comando foi bem enviado, são esperadas determinadas respostas. Só quando é recebida a resposta esperada, é que é enviado o próximo comando. Esta regra aplica-se a todos os comandos.

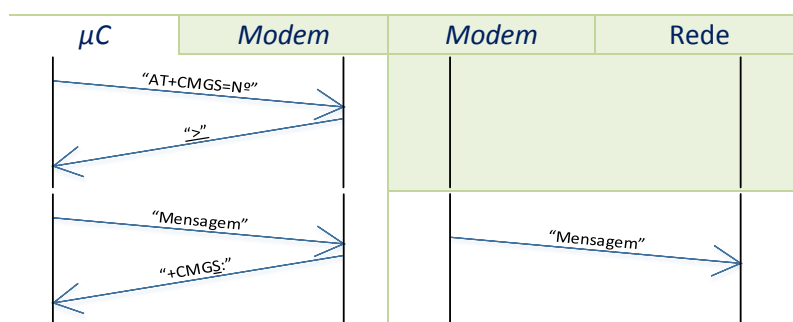


Figura 4.21 - Sequência de envio do SMS

Foram definidas algumas mensagens implementadas no protótipo, como se pode ver na Tabela 4.4. O sistema interpreta, também, outras mensagens que permitem redefinir os limites das variáveis e verificar ou alterar o estado dos atuadores. (ANEXO D)

Mensagem	Definição
%temp?	Responde o valor da temperatura
%ph?	Responde o valor do pH
%nível?	Responde o valor do nível
%ilu?	Responde o valor da iluminação
%pressão?	Responde o valor da pressão

Tabela 4.4 - Mensagens implementadas no sistema

O modo de funcionamento é o seguinte: uma mensagem de texto é enviada para um número pré-determinado com o texto indicado e o sistema devolve uma mensagem, indicando o que foi pedido, como ilustrado na Figura 4.22. As mensagens recebidas pelo sistema só serão interpretadas se estiverem no formato padronizado, qualquer outra será descartada e eliminada da caixa de mensagens.

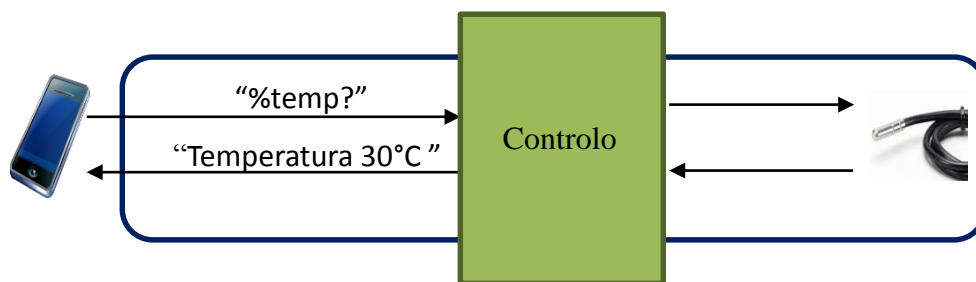


Figura 4.22 - Exemplo de envio e receção do SMS

O sistema envia, autonomamente, um SMS com o texto pré-definido, se este estiver configurado para enviar alertas para o operador, em situações de limite de alguma variável. As mensagens disponíveis podem ser observadas na Tabela 4.5.

Mensagem	Definição
Temp max	Atingiu o limite máx. de temperatura
Temp min	Atingiu o limite mín. de temperatura
ph max	Atingiu o limite máx. de pH
ph min	Atingiu o limite mín. de pH
ilu max	Atingiu o limite máx. de iluminação
ilu min	Atingiu o limite mín. de iluminação
Nível max	Atingiu o limite máx. de nível
Nível min	Atingiu o limite mín. de nível
Pressão max	Atingiu o limite máx. de pressão
Pressão min	Atingiu o limite mín. de pressão

Tabela 4.5 - SMS de alertas

É possível também reconfigurar o número do responsável pelo sistema, que irá receber os alertas, através do envio do comando “#1 nº telemóvel”, por exemplo “#1 911111111”, e, em resposta, o sistema envia a confirmação de “N-1 configurado”, via SMS.

Para garantir que, em caso de falha do sistema, não se perdia o número pré-definido do operador, aplicou-se a *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM), que é responsável pelo registo do número, no caso de este ser alterado, e por fornecê-lo quando o sistema é reiniciado. A EEPROM utilizada foi a 25LC1024, por ser a memória disponível quando a dissertação se desenvolveu. Esta memória comunica com o microcontrolador através do protocolo SPI. Segundo o documento técnico, é alimentada entre 2,5 V e 5,5 V e tem memória de 1 Mbit. [39]

#### **4.4 Interface gráfica - *Software***

De modo a permitir uma interface gráfica com o sistema sensorial, foi desenvolvido um *software*, para o sistema operativo *Windows*, recorrendo-se à linguagem em *Visual Basic*. Esta interface permite que o sistema seja monitorizado e controlado, registando os valores recolhidos em base de dados. A escolha desta linguagem baseou-se na interface acessível e na sua vocação para gerar aplicações. Esta linguagem é orientada por eventos e, quando é executada uma ação, é efetuada outra ação previamente determinada.

##### **4.4.1 Caraterísticas da interface**

O programa em *Visual Basic* consiste basicamente em código escrito, que se pode dividir em três partes - o projeto, o *form* e os módulos. O sistema implementado tem a capacidade de operar com a placa de sensores, a partir do bloco de controlo.

Esta interface possui as seguintes caraterísticas:

- Permite o envio e a receção de informação de/para o bloco de controlo;
- Permite a visualização de informação de forma interpretada;
- Suporta comunicação sobre a porta série;
- Permite guardar as medições dos sensores, em base de dados;
- Permite a definição dos limites relativos a máximos e mínimos de cada grandeza;
- Permite a visualização dos dados, através de gráficos;
- Permite definir os alertas desejados, via SMS;
- Permite o registo de eventos relativos a alertas ocorridos;
- Permite a visualização das mensagens de texto suportadas pelo sistema;
- Permite que se opere em modo manual.



#### 4.4.2 Funcionamento da interface

Executando a interface gráfica, visualizam-se as informações relativas ao sistema associado, nomeadamente alertas emitidos, ou seja, limites que tenham sido atingidos (Figura 4.23). A interface, inicialmente, não tem informações do bloco de sensores, por isso, será necessário adicionar o bloco, indicando-lhe a porta série a que se encontra ligado. Esta interface de comunicações tem uma janela de visualização de comandos permutados entre a interface e o módulo.

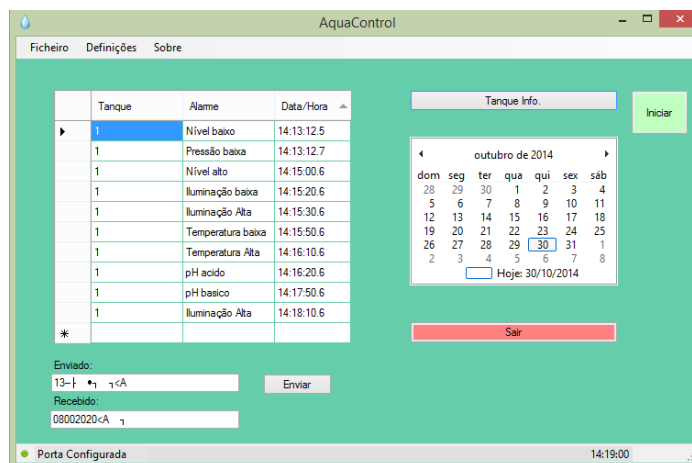


Figura 4.23 - Janela principal da aplicação desenvolvida

A monitorização e o registo evitam a necessidade de um operador que verifique regularmente se os valores estão dentro dos limites pretendidos. Deste modo, com a aplicação de aparelhos de medida indicados para as diferentes grandezas, ultrapassou-se a forma rudimentar dependente da ação do homem no local. A janela de monitorização (Figura 4.24) permite visualizar o estado instantâneo do sistema, o dos atuadores, os valores dos sensores e o acesso a outras janelas relevantes.

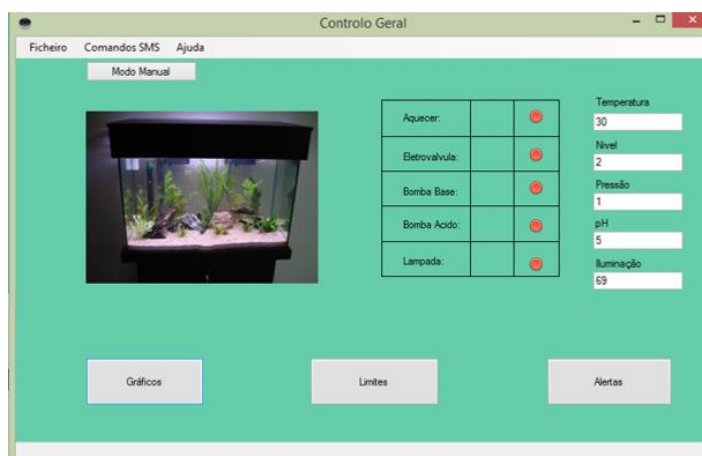


Figura 4.24 - Janela de monitorização

O sistema permite estabelecer os limites das variáveis, por mensagem de texto ou pela aplicação desenvolvida. A definição dos limites é feita através de uma *scrollbar*, que limita o valor máximo do valor mínimo ao valor máximo definido e o valor mínimo do máximo ao valor mínimo definido. Assim, garante-se que o valor mínimo é inferior ao valor máximo e que o valor máximo é superior ao valor mínimo, como é exemplificado na Figura 4.25. O programa permite configurar os alertas que se pretendem, via SMS, deixando ao critério do operador do sistema os alertas que receberá - Figura 4.26.

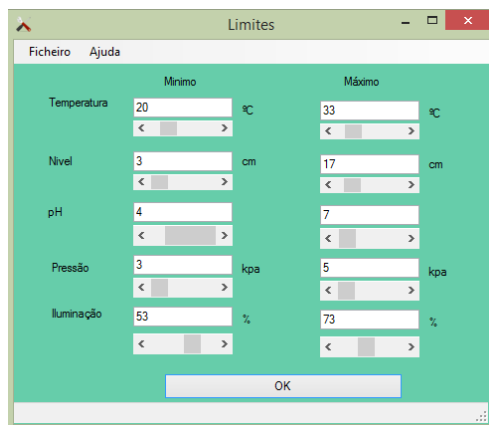


Figura 4.25 - Janela de configuração de limites

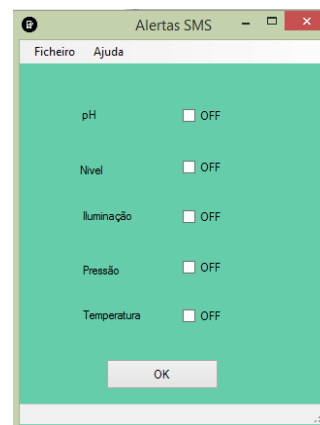


Figura 4.26 - Janela de configuração de alertas

Outra função do programa é a possibilidade de controlar o sistema manualmente, Figura 4.27, apesar da restrição aos limites definidos. Assim, a função de atuar só funcionará caso o nível de cada variável esteja entre os limites previamente definidos, evitando que o meio aquático seja alterado de forma prejudicial para as espécies.

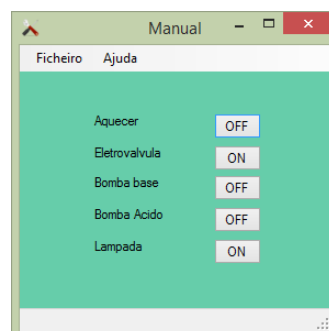


Figura 4.27 - Janela para funcionamento em modo manual

O programa possibilita manter um historial das alterações de cada variável ao longo do tempo, indicando as alterações dos limites máximos e mínimos. Existem três caixas de texto que permitem verificar os valores instantâneos, tanto da variável como dos limites estabelecidos previamente.

Além do mais, é possível visualizar o gráfico de uma forma dinâmica, mostrando, em tempo real, os dados recebidos, sendo atualizado de 30 em 30 segundos. Os dados apresentados são relativos

à temperatura, ao pH, à iluminação, à pressão e ao nível. Na Figura 4.28, é possível observar o gráfico relativo à variação da iluminação.

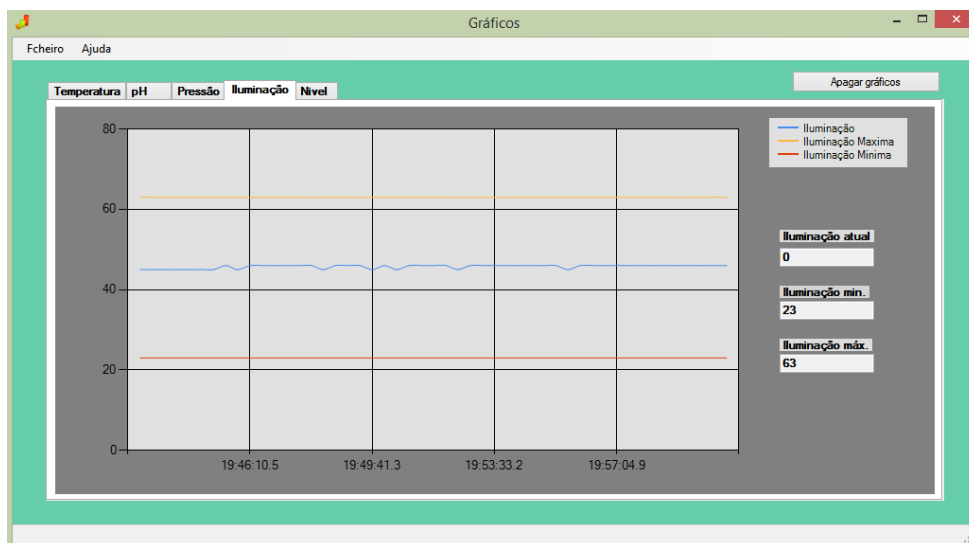


Figura 4.28 - Janela do gráfico da iluminação

Por fim, há uma janela que permite verificar os comandos disponíveis para SMS. Na Figura 4.29, percebe-se o que é solicitado ao sistema e a sua resposta. As opções disponíveis são: o pedido de valores apresentados pelos sensores, o estado dos atuadores, a definição de novos limites para cada variável e a interpretação dos alertas recebidos.

Figura 4.29 - Janela de comandos do SMS

#### 4.4.3 Base de dados

De modo a tornar possível o registo da informação na base de dados, minuto a minuto, foram criadas três tabelas - uma com o registo dos valores dos sensores (Figura 4.30), outra com o estado dos atuadores e uma terceira com os alertas emitidos.

A função da base de dados é garantir o registo e guardar o historial do comportamento do sistema. Uma vez que se trata de um único tanque, não houve necessidade de criar uma referência entre as tabelas, pois, toda a informação era relativa ao mesmo. De seguida, apresentam-se os valores registados em cada tabela.

Registo dos valores dos sensores:

- ID do registo;
- Valor do pH;
- Valor da temperatura;
- Valor da iluminação;
- Valor do nível;
- Valor da pressão;
- Data e hora da informação guardada.

Registo do estado dos atuadores:

- ID do registo;
- Estado da lâmpada;
- Estado da resistência;
- Estado da bomba peristáltica;
- Estado da bomba peristáltica1;
- Estado da eletroválvula;
- Data e hora da informação guardada.

Registo dos alertas emitidos:

- ID do registo;
- Alerta da temperatura;
- Alerta do pH;
- Alerta da iluminação;
- Alerta do nível;
- Alerta da pressão;
- Data e hora da informação guardada.
















<div>←T→</div>				ID	ph	temperatura	iluminacao	nivel	pressao	Hora
<input type="checkbox"/>	 <a href="#">Edita</a>	 <a href="#">Copiar</a>	 <a href="#">Apagar</a>	1	6	53	74	2	1	30-Sep-2014 às 13:56
<input type="checkbox"/>	 <a href="#">Edita</a>	 <a href="#">Copiar</a>	 <a href="#">Apagar</a>	2	6	53	74	1	1	30-Sep-2014 às 13:57
<input type="checkbox"/>	 <a href="#">Edita</a>	 <a href="#">Copiar</a>	 <a href="#">Apagar</a>	3	6	53	74	1	1	30-Sep-2014 às 13:58
<input type="checkbox"/>	 <a href="#">Edita</a>	 <a href="#">Copiar</a>	 <a href="#">Apagar</a>	4	6	52	74	1	1	30-Sep-2014 às 13:58
<input type="checkbox"/>	 <a href="#">Edita</a>	 <a href="#">Copiar</a>	 <a href="#">Apagar</a>	5	6	52	74	13	2	30-Sep-2014 às 13:59

Figura 4.30 - Janela da tabela de valores dos sensores

## 4.5 Desenvolvimento do *hardware*

O sistema implementado foi montado em placa de teste. Na Figura 4.31, observa-se, do lado esquerda, a placa de desenvolvimento (1), que incorpora o *modem*; no canto superior direito, a placa desenvolvida (2), onde se podem ligar os atuadores; no canto inferior direito, a placa dedicada ao condicionamento dos sensores (3), que corresponde à PCB desenvolvida apresentada na Figura 4.9. O circuito de alimentação (4) encontra-se no meio do sistema, onde se podem ligar os circuitos atuadores e os sensores, este circuito corresponde à PCB desenvolvida apresentada na Figura 4.13. O desenvolvimento do projeto foi feito por módulos para ser mais fácil a sua implementação.

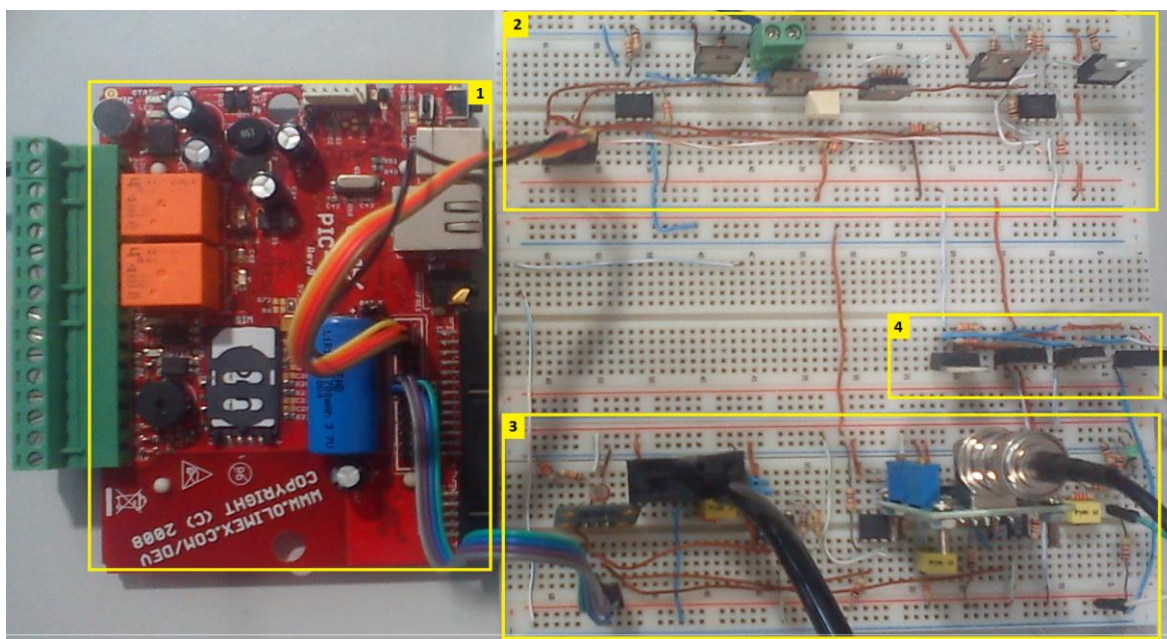


Figura 4.31 - *Hardware* desenvolvido

## 4.6 Sistema em funcionamento

No final, os sensores foram testados, através de um teste prático que verificou o comportamento do sistema desenvolvido, ao nível de registos e alertas emitidos. Deste modo, foi possível garantir o seu correto funcionamento, forçando as variáveis medidas a ultrapassarem os limites estabelecidos.

### 4.6.1 Testes de sensores

Para garantir que todos os sensores estavam em pleno funcionamento, foram testados de forma individual, de modo a evitar erros quando aplicados no sistema. Os sensores poderão ser afetados por temperaturas fora do normal.

De seguida, é apresentada a forma como cada sensor foi calibrado, bem como os valores de comparação.

- **Sensor de temperatura**

Na calibração do sensor de temperatura, utilizou-se o multímetro KAISE MY-64 em modo de leitura de temperatura, e foi colocado um termopar do tipo K num recipiente, juntamente com o PTC 1000, para obter os valores de referência. Em seguida, variou-se a temperatura da água, aquecendo-a e arrefecendo-a. Na Gráfico 4.6, são comparados os valores obtidos a partir do termopar e o valor obtido depois de condicionado o valor do sensor, convertido e apresentado no *software* desenvolvido.

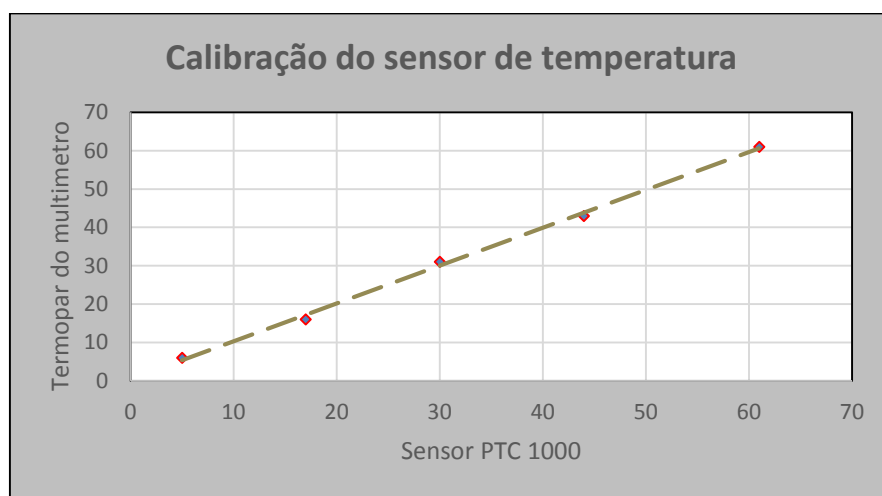


Gráfico 4.6 - Calibração do sensor de temperatura

- **Sensor de nível**

O sensor de nível utilizado foi um sensor de pressão. Para a sua calibração, mergulhou-se o tubo no recipiente, em paralelo com uma régua e acrescentou-se água, verificando-se o nível medido pela régua e pelo sensor, depois de condicionado, convertido e apresentado no *software* desenvolvido. Os valores registados, em centímetros, podem ser observados no Gráfico 4.7. É de referir que o valor apresentado pelo sistema pode ser diferente do real, no caso do líquido em questão ter uma densidade diferente da água doce.

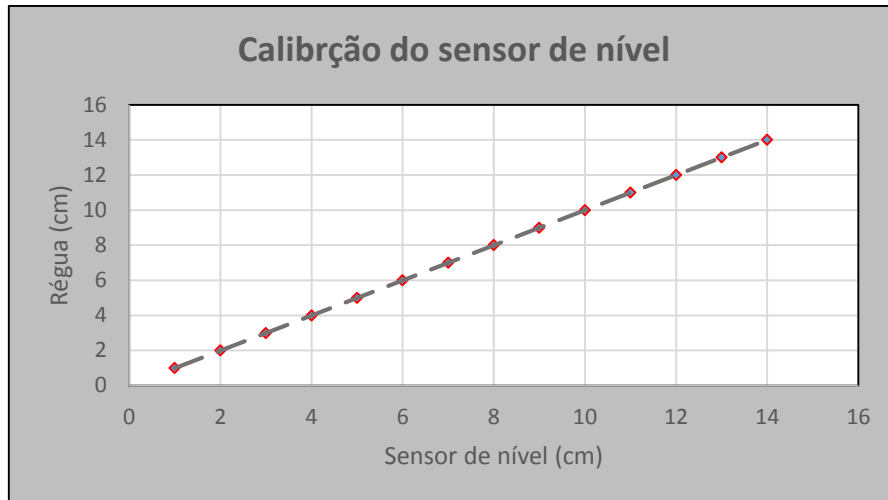


Gráfico 4.7 - Calibração do sensor de nível

- **Sensor de luminosidade**

Para calibrar este sensor, recorreu-se a um luxímetro TES1332, através do qual foi possível medir o nível de luminosidade e comparar com o valor da resistência, LDR, verificando-se a variação do sensor depois de condicionado, convertido e apresentado no *software* desenvolvido. Esta verificação pode apresentar algum erro, pois o ângulo de incidência de luz, no LDR, é diferente do ângulo de incidência no luxímetro. No Gráfico 4.8 pode observar-se que o comportamento do LDR não traduz o valor exato da iluminação em lux, porém este varia sendo possível ter um valor de referência para a iluminação com a sua variação.

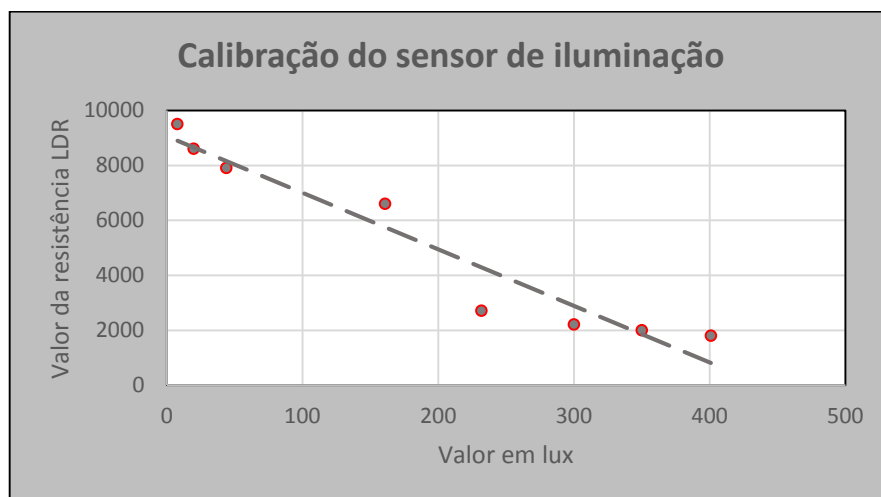


Gráfico 4.8 - Calibração do sensor de iluminação

- **Sensor de pH**

Visando garantir que os valores de pH eram medidos corretamente, recorreu-se a fitas de teste de pH, "API TEST STRIPS". No entanto, uma vez que não apresentam um valor muito concreto, utilizaram-se também algumas soluções líquidas cujo pH é conhecido, como uma garrafa de água que, tipicamente, apresenta um pH em torno de 6 ou água oxigenada, que apresenta um valor em torno de 2. Esta experiência foi efetuada aplicando o eletrodo e a fita de teste de pH dentro de diferentes soluções, com a intenção de obter alguns valores de referência (Gráfico 4.9).

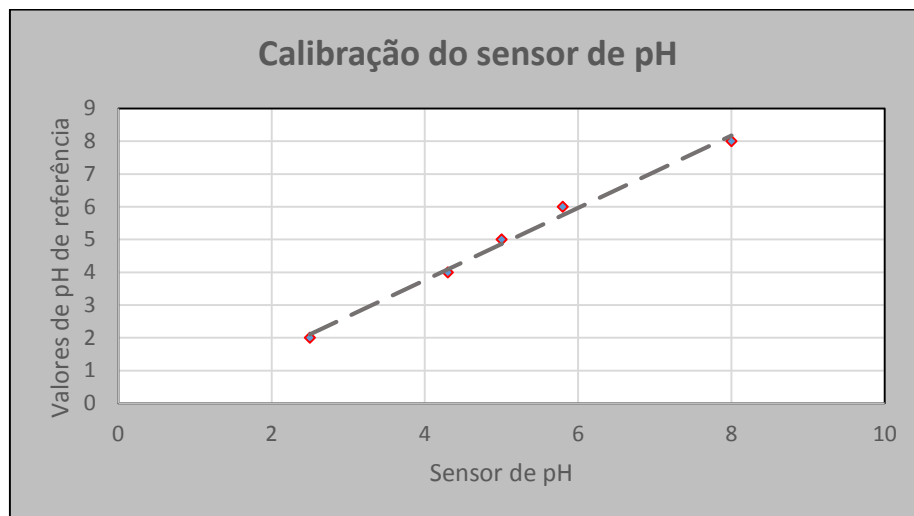


Gráfico 4.9 - Calibração do sensor de pH

Os valores lidos poderão ter um pequeno erro, devido ao arredondamento às unidades, tanto do erro do sensor como do ótico. Os sensores, depois de condicionados, foram ajustados através do *software* desenvolvido. Dos sensores aplicados, o que se apresentou com uma maior erro foi o de iluminação.

#### 4.6.2 Variações gráficas

No Gráfico 4.10, definiram-se os limites mínimos e máximos, 15°C e 31°C, respetivamente. À medida que o tempo passa, a temperatura vai diminuindo e, quando o limite mínimo é atingido, a resistência é ligada, e só se desliga quando o nível máximo é atingido. As janelas relativas às outras variáveis têm comportamento igual ao representado. Os limites foram definidos através da janela de limites podendo ser também estes definidos pelo envio de SMS.



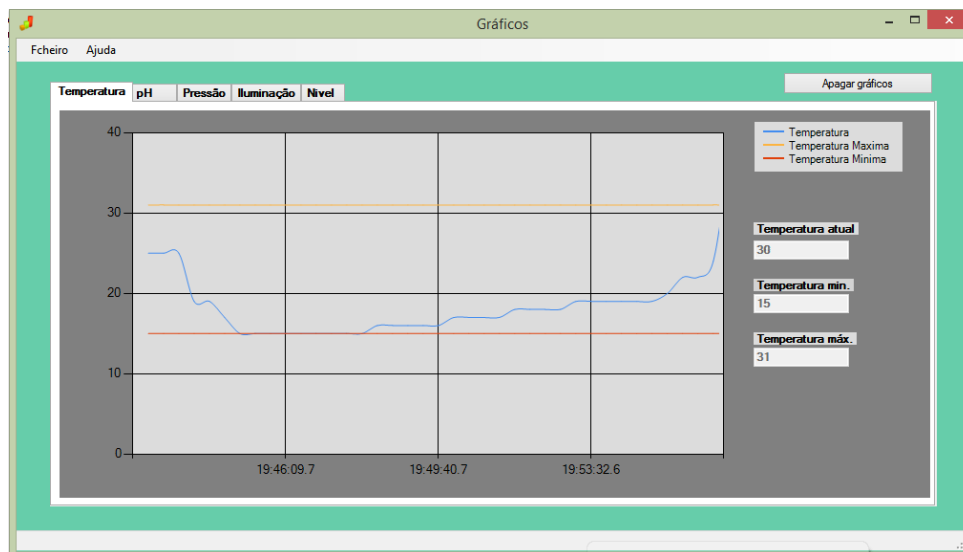


Gráfico 4.10 - Controlo da temperatura

### 4.6.3 Alertas

Em sequência do ensaio desenvolvido no tópico anterior e, uma vez que o sistema estava configurado para o envio de alertas quando atingidos os extremos da temperatura, foram enviados dois SMS - Figura 4.32 - um quando foi atingido o limite máximo, outro quando se atingiu o limite mínimo. Na Figura 4.33, é feito um pedido ao sistema, via SMS, sobre o valor da temperatura, enviando uma SMS com o texto “%temp” e o sistema devolveu o valor da temperatura correspondente “Temperatura 27”. Relativamente ao estado do atuador foi enviado para o sistema um SMS com o texto “%tempA” em que a resposta foi “Temperatura OFF”, verificando-se que a resistência de aquecimento do sistema está desligada.

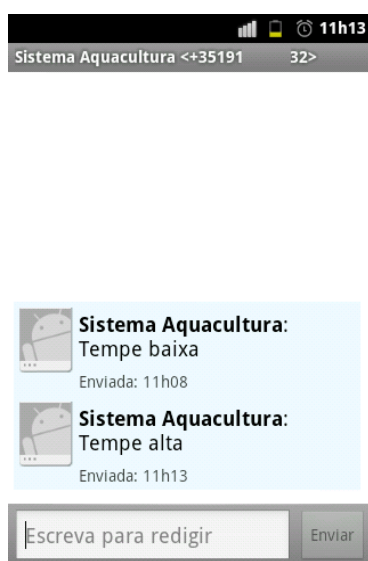


Figura 4.32 - Mensagens enviadas do sistema

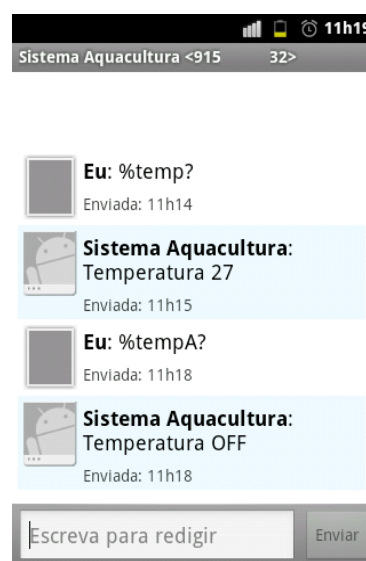


Figura 4.33 - Mensagens entre o sistema e o operador

O sistema implementado permite definir os limites das variáveis a controlar, através do SMS. A Figura 4.34, ilustra as mensagens enviadas e a resposta de confirmação a cada uma delas. Para definir o limite máximo da temperatura enviou-se um SMS para o sistema, com o texto “%temp\_M=30”, recebendo como resposta de confirmação de alteração do sistema, com o texto “Tempe\_M=30”. Da mesma forma, foi definido o limite mínimo, através do envio de um SMS, com o texto “%temp\_m=25”, recebendo posteriormente uma resposta de confirmação dessa alteração, “Tempe\_m=25”.

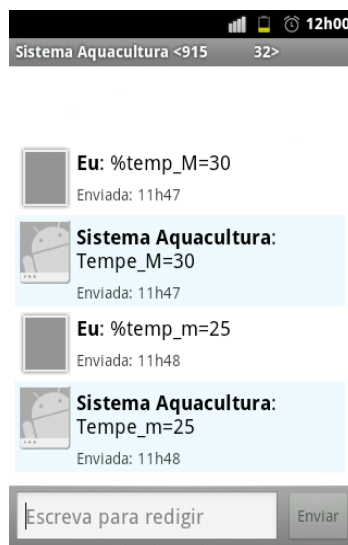


Figura 4.34 - Troca de mensagens para definição dos limites das variáveis

## 5 Discussão

Neste capítulo, apresentam-se as principais conclusões e o modo como melhorar o sistema projetado e implementado. Expõem-se, ainda, novas funcionalidades que podem ser implementadas em futuros trabalhos, no âmbito do tema desta dissertação.

### 5.1 Conclusões

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de uma solução que permite que um sistema de aquacultura seja controlado autónoma e remotamente. O estado da arte permitiu perceber o tipo de tecnologias usadas neste género de soluções, as disponíveis no mercado e o seu modo de funcionamento, bem como as soluções desenvolvidas, até ao momento, a nível académico. Os sistemas apresentados no estado de arte são sistemas com diversas capacidades.

O sistema desenvolvido nesta dissertação acrescenta a capacidade de monitorizar e controlar todo o sistema de um modo remoto, permitindo, assim, controlar os atuadores e verificar a cada instante o estado do tanque, recebendo também alertas no caso de os valores mínimos ou máximos serem atingidos. Este sistema pode ser controlado e monitorizado estando ou não ligado a um PC. Caso não esteja presente, o sistema perde a capacidade de registar a informação, ficando neste caso operacional através de SMS.

Na solução apresentada, atingiram-se os objetivos propostos, verificando-se o seu funcionamento de modo satisfatório.

A recolha de informação sensorial permite obter informação do estado de qualidade da água, com confiança, admitindo um erro relativamente baixo. O controlo do sistema é feito pelos atuadores, possibilitando manter os valores das variáveis dentro dos limites pretendidos.

A comunicação desenvolvida, através do GSM, consente a total liberdade e flexibilidade do operador, com um bom desempenho ao longo dos ensaios. O recurso ao SMS confere liberdade ao operador, do ponto de vista do dispositivo, uma vez que o único requisito é o envio e a receção do SMS.

Através da aplicação desenvolvida, é possível visualizar toda a informação relativa ao sistema, assim como registar as ocorrências, que pode tornar-se lenta com o acumular de informação.

Concluindo, o sistema cumpriu os objetivos propostos, podendo ser utilizado em situações reais. No entanto, terá de ser melhorado para poder vingar no mercado, uma vez que se trata de uma versão protótipo e existem aspetos a aperfeiçoar e novas funcionalidades a adicionar, visando tornar-se mais rentável o cultivo de aquacultura.

Por fim, um sistema tecnológico deste tipo pode auxiliar na manutenção de um ou mais tanques, aumentando a rentabilidade na prática da aquacultura, de modo a tornar esta tecnologia capaz de compensar o défice entre o pescado consumido em Portugal.

## 5.2 Limitações do sistema

O sistema desenvolvido mostrou ser um sistema robusto, que desempenhou o objetivo principal. Contudo, pode ser melhorado a partir da conceção da PCB desenvolvida, permitindo um sistema mais fiável e compacto. Ainda ao nível do *hardware*, o sistema poderá ser desenvolvido num microcontrolador da mesma família, em conjunto com um *modem* do mesmo tipo, de forma a reduzir o custo final.

O programa desenvolvido, no microcontrolador, poderá ser melhorado do ponto de vista da capacidade de receber e gerir vários SMS em simultâneo.

Na interface desenvolvida, a aparência poderá ser mais apelativa, tornando mais agradável a sua manipulação. Poderá ser adicionado um sistema de proteção, a que só consegue aceder quem tem autorização. Para o sistema não se tornar lento com o acumular de informação, seria necessária alguma estratégia eficaz para o tornar mais fluido.

## 5.3 Perspetivas futuras

Para além do que foi projetado, poderá ser desenvolvida uma interface, através de uma página *World Wide Web* (WEB), integrando uma câmara de vídeo, de forma a visualizar remotamente o sistema. A página poderá ser desenvolvida a partir dos registos da base de dados, efetuados pelo *software*.

Este sistema poderá evoluir no sentido de monitorizar e controlar mais do que um tanque em simultâneo, através de comunicação sem fios entre os tanques.

Um modo de obter mais informações sobre o tanque seria aplicar outros sensores, como o de oxigénio, de salinidade ou de condutividade, por exemplo.

De modo a simplificar o sistema, poderia ser desenvolvida uma aplicação para *smartphone*, já com os SMS pré-definidos.

Uma evolução que poderia ser vantajosa seria a alimentação automática das espécies.

## 6 Bibliografia

- [1] FAO - **Rural Aquaculture: Overview and Framework for Country , 1.Definitions** [Em linha] [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fao.org/docrep/003/x6941e/x6941e04.htm>>.
- [2] DGPA - Programa Operacional de Pescas 2007-2013 07. 2007).
- [3] FAO - **FAO Fisheries & Aquaculture - CWP Handbook of Fishery Statistical Standards - AQUACULTURE** [Em linha] [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fao.org/fishery/cwp/handbook/j/en>>.
- [4] SILVA, José William Bezerra E - **MANUAL SOBRE MANEJO DE RESERVATORIOS PARA A PRODUÇÃO DE PEIXES** [Em linha] [Consult. 3 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab486p/AB486P08.htm>>.
- [5] STATE, The; FISHERIES, World - **The State of World Fisheries and Aquaculture 2014**. ISBN 9789251082751.
- [6] INE - **Estatísticas da Pesca 2013**. ISBN 9789892502632.
- [7] ENM - **Estratégia Nacional para o Mar 2013 - 2020**. 2013).
- [8] DGRM - **DGRM** [Em linha] [Consult. 8 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.dgrm.min-agricultura.pt/xportal/xmain?xpid=dgrm&actualmenu=168213&selectedmenu=168420&xpgid=genericPage&conteudoDetalhe=169169>>.
- [9] WILEY, A. John - **Aquaculture - Farming Aquatic Animals and Plants (2nd Ed)**. ISBN 9781405188586.
- [10] SILVESTRE, C. A. P. - “Controle inteligente da qualidade da água para tanques de água doce.” Universidade do Estado Santa Catarina, Mestrado em Automação Industrial. 2003).
- [11] SALES, MARCO ANTONIO VIEIRA - “Sistema de supervisão e controle da concentração de microalgas e temperatura na maturação de ostras em tanque de cultivo.” Universidade Federal Santa Catarina, Mestrado Engenharia Química. 2004).
- [12] SILVA, Isaac N. L.; GUERRA, Karion; MESSIAS, Daniel E. - **AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE TANQUE PARA PISCICULTURA**. 2006) 4–6.
- [13] CAMARGO, Carla Bernadete; COSTA, Leonardo Faria; PARADISO, Silvio Ruiz - **SISTEMA DE CONTROLE PARA AQUARIOFILIA**. 2012).
- [14] HOME, Intelligent - **Intelligent Home - Automação e entretenimento residencial** [Em linha] [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.intelligenthome.com.br/resi-nome-aquario.php>>.

- [15] ITELMATIS - **Itelmati - sAquacultura** [Em linha] [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.itelmatis.com/pt/solucoes/aqualcultura.html>>.
- [16] SYSTEMS, Argus Control - **Aquaculture Applications** | [Em linha] [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.arguscontrols.com/industry-applications/aquaculture-and-aquaponics/aquaculture-applications/>>.
- [17] SCIENTIFIC, Campbell - **Campbell Scientific - Brasil** [Em linha] [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.campbellsci.com.br/>>.
- [18] MILAN SIMEK, IVAN MICA, JAN KACALEK, RADIM BURGET - Bandwidth Efficiency of Wireless Networks of WPAN, WLAN, WMAN and WWAN. 2006) 1–15.
- [19] GSMA - **GSM | About Us** [Em linha] [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology/gsm>>.
- [20] GARG, Vijay - **Wireless Communications & Networking** [Em linha]. [S.l.] : Morgan Kaufmann, 2007. 840,pg1 p. [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://books.google.com/books?id=UE2wEc9NfB8C&pgis=1>>. ISBN 978-0-12-373580-5.
- [21] **ME Componentes e Equipamentos Eletrônicos Ltda** - [Em linha] [Consult. 21 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.mecomp.com.br/produtos.html>>.
- [22] **What is GPRS?** - [Em linha] [Consult. 5 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gprs/gprs\\_tutorial.php](http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gprs/gprs_tutorial.php)>.
- [23] **NEWNES - Computers, Transducers, Instrumentation and Signal Processing**
- [24] INSTRUMENTS, National - **RTD, Termístor, Tabela de comparação para termopares - National Instruments** [Em linha] [Consult. 20 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/D242511854DEE66686257BE2005D5A2D>>.
- [25] DANFOSS - Technical brochure Temperature sensor type EKS 111. 2012) 5–6.
- [26] FREESCALE - **Freescal Semiconductor MPX-2010 DP Special Differential Pressure Sensor 0 - 10 kPa 10 - 16 Vdc from Conrad.com** [Em linha] [Consult. 16 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.conrad.com/ce/en/product/185523/Freescale-Semiconductor-MPX-2010-DP-Special-Differential-Pressure-Sensor-0-10-kPa-10-16-Vdc>>.
- [27] SEMICONDUCTOR, Freescale - Freescale Semiconductor 10 kPa On-Chip Temperature Compensated and Calibrated Silicon Pressure Sensors. 2008) 2005–2008.
- [28] **Só Física - Teorema de Stevin** - [Em linha] [Consult. 8 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/EstaticaeHidrostatica/teoremadestevin.php>>.

- [29] **LDR | Electronic Piece** - [Em linha] [Consult. 20 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://electronicpiece.blogspot.pt/2012/01/boas-hoje-venho-aqui-publicar-mais-um.html>>.
- [30] **1/2 Inch 12V Electric Solenoid Valve for Water** - [Em linha] [Consult. 16 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.amazon.co.uk/Inch-Electric-Solenoid-Valve-Water/dp/B00471M1D2>>.
- [31] **AQUAFANAT - DC Techni Motor Peristaltic Pump 6V.** [Em linha] [Consult. 16 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.aquafanat.com.ua/forum/index.php?showtopic=46560>>.
- [32] **OLIMEX - PIC-GSM** [Em linha] [Consult. 8 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.olimex.com/Products/PIC/Development/PIC-GSM/>>.
- [33] **RoboSavvy UK Store - SparkFun - PIC GSM Cellular Development Board** - [Em linha] [Consult. 22 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:[http://robosavvy.com/store/product\\_info.php/products\\_id/1014](http://robosavvy.com/store/product_info.php/products_id/1014)>.
- [34] DEVICES, Analog - Instrumentation Amplifier AD 623. 2008).
- [35] **Sensor De Ph Con Electrodo Bnc V Arduino Avr Pic** - [Em linha] [Consult. 16 oct. 2014]. Disponível em WWW:<URL:[http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-461037122-sensor-de-ph-con-electrodo-bnc-v-arduino-avr-pic-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-461037122-sensor-de-ph-con-electrodo-bnc-v-arduino-avr-pic-_JM)>.
- [36] IOR - Mosfet IRF4104 / S. 2010) 1–15.
- [37] TRIACS, Sensitive Gate; WAFER, Glass Passivated - TRIAC TIC206D. September (2002) 1–3.
- [38] SPECIFICATION, Software - SIM300D AT Command Set SOFTWARE. 2004).
- [39] TECHNOLOGY, Microchip - EEPROM 25C1024. 25 (2010) 1–34.





## **7 Anexos**



## Anexo A – Circuito de sensores

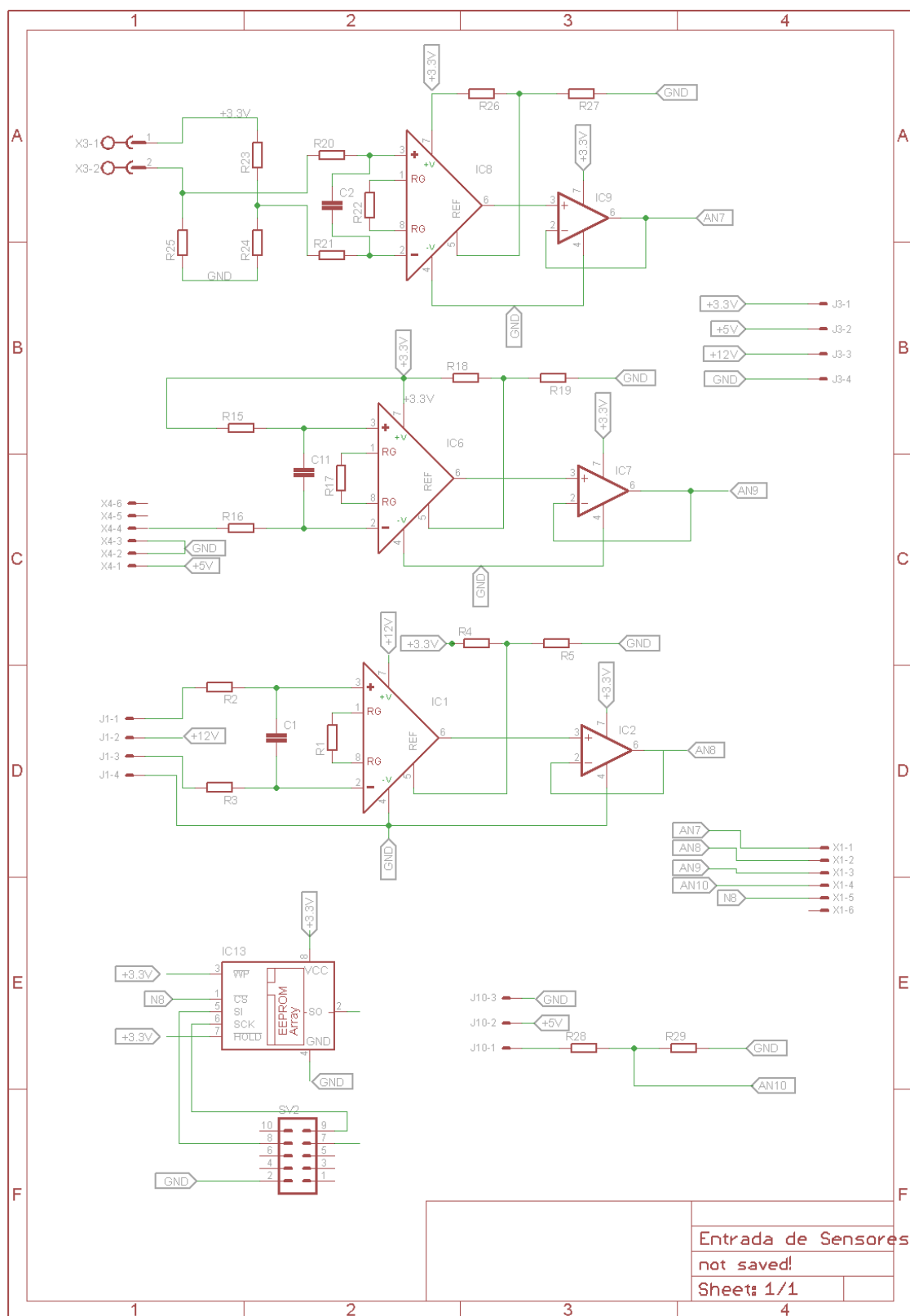


Figura 7.1 - Esquema elétrico da entrada de sensores



## Anexo B – Circuito de atuadores

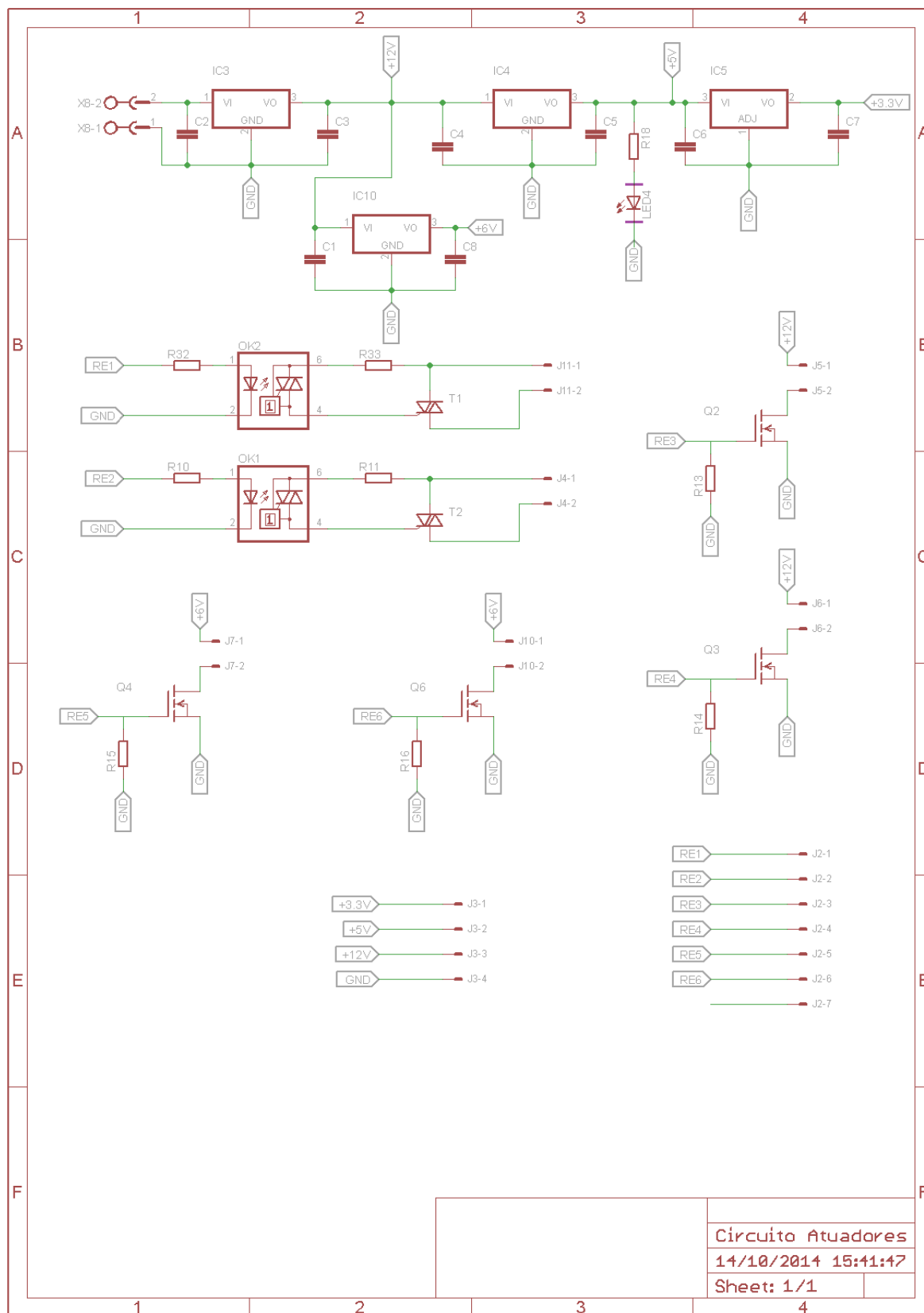


Figura 7.2 - Esquema elétrico da saída de atuadores



## Anexo C – PCB desenvolvidas de Sensores e Atuadores

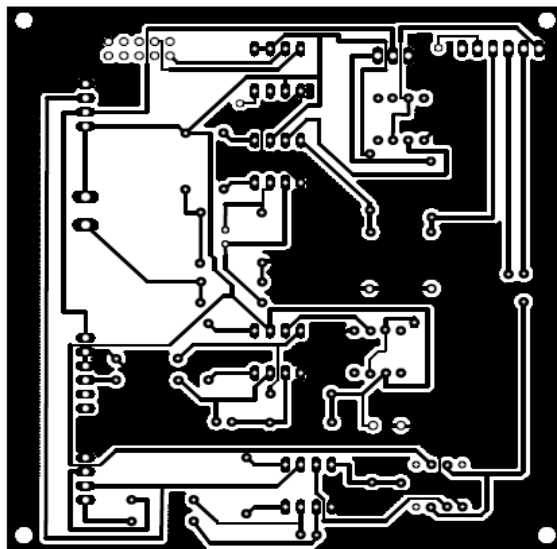


Figura 7.3 - Circuito PCB sensores

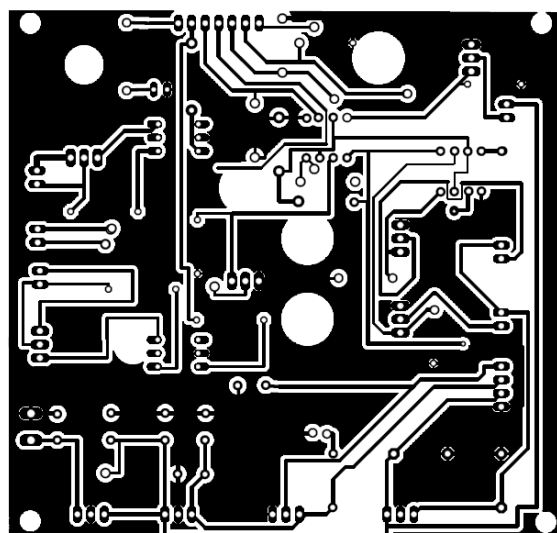


Figura 7.4 - Circuito PCB atuadores





## Anexo D - Tipos de SMS

Mensagem	Definição
%temp?	Responde o valor da temperatura
%ph?	Responde o valor do pH
%nivel?	Responde o valor do nível
%ilu?	Responde o valor da iluminação
%pressao?	Responde o valor da pressão
Mensagem	Definição
%tempA?	Responde o valor do atuador da temperatura
%pHA?	Responde o valor do atuador do pH
%nivelA?	Responde o valor do atuador do nível
%iluA?	Responde o valor do atuador da iluminação
%pressaoA?	Responde o valor do atuador da pressão

Mensagem	Definição
%temp +	Liga o atuador de temperatura
%temp -	Desliga o atuador de temperatura
%ph +	Liga o atuador de ácido
%ph -	Desliga o atuador de ácido
%ph1 +	Liga o atuador de base
%ph1 -	Desliga o atuador de base
%lamp on	Liga o atuador de iluminação
%lamp off	Desliga o atuador de iluminação
%encher on	Liga o atuador de nível
%encher off	Desliga o atuador de nível

Mensagem	Definição
%temp_M_XX	Define o limite máx. de temperatura
%temp_m_XX	Define o limite mín. de temperatura
%ph_M_XX	Define o limite máx. de pH
%ph_m_XX	Define o limite mín. de pH
%ilu_M_XX	Define o limite máx. de iluminação
%ilu_m_XX	Define o limite mín. de iluminação
%nivel_M_XX	Define o limite máx. de nível
%nivel_m_XX	Define o limite mín. de nível
%pres_M_XX	Define o limite máx. de pressão
%pres_m_XX	Define o limite mín. de pressão



## Anexo E - Tipos de mensagens entre o PC e o microcontrolador

Código Função	Código posição	Registo associado
0x01	0x02	Lê saída RE0
0x01	0x03	Lê saída RE1
0x01	0x04	Lê saída RE2
0x01	0x05	Lê saída RE3
0x01	0x06	Lê saída RE4

Código Função	Código posição	Registo associado
0x02	0x02	Lê entrada AN5
0x03	0x03	Lê entrada AN6
0x02	0x04	Lê entrada AN7
0x02	0x05	Lê entrada AN8
0x02	0x06	Lê entrada AN9

Código Função	Código posição	Registo associado
0x03	0x02	Limite mínimo de temperatura
0x03	0x03	Limite máximo de temperatura
0x03	0x04	Limite mínimo de nível
0x03	0x05	Limite máximo de nível
0x03	0x06	Limite mínimo de pH
0x03	0x07	Limite máximo de pH
0x03	0x08	Limite mínimo de pressão
0x03	0x09	Limite máximo de pressão
0x03	0x10	Limite mínimo de iluminação
0x03	0x11	Limite máximo de iluminação

Código Função	Código posição	Registo associado
0x05	0x02	Atua saída RE0
0x05	0x03	Atua saída RE1
0x05	0x04	Atua saída RE2
0x05	0x05	Atua saída RE3
0x05	0x06	Atua saída RE4

Código Função	Código posição	Registo associado
0x07	0x02	Alarme 1
0x07	0x03	Alarme 2
0x07	0x04	Alarme 3
0x07	0x05	Alarme 4
0x07	0x06	Alarme 5